

チャ害虫総合管理のための薬剤抵抗性ケナガカブリダニ *Amblyseius womersleyi* の利用に関する研究[†]

望 月 雅 俊*

(平成 14 年 11 月 20 日受理)

Studies on use of the pesticide resistant predatory mite *Amblyseius womersleyi*
SCHICHA (Acari: Phytoseiidae) for integrated pest management on tea plants

Masatoshi MOCHIZUKI

Synopsis

In tea cultivation as many species of pests occur simultaneously, so integrated pest management (IPM) that reduces pesticide application by harmoniously using pesticides and natural enemies, is important. However, the outbreak (resurgence) of the Kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* KISHIDA, following use of synthetic pyrethroid insecticides (SP) became a serious problem in pest management on tea plants. To solve this problem, the SP-resistant predatory mite, *Amblyseius womersleyi* Schicha was found and its effectiveness was evaluated in the tea pests management program. The variation in susceptibility to SP was successfully detected and some promising SP resistant strains were selected from tea fields in the eastern part of Shizuoka prefecture. The ecological traits of the selected SP-resistant strain were equal to those of the other native populations in Japan. It was confirmed that this strain could successfully control the *T. kanzawai* population under SP application and two sucking pests (*Scirtothrips dorsalis* HOOD, *Empoasca onukii* MATSUDA) were simultaneously controlled by SP in the field trial.

Key Words : *Amblyseius womersleyi*, biological control, IPM, synthetic pyrethroid, pesticide resistance, *Tetranychus kanzawai*, tea

	目 次		
		5	本研究の目的 97
		II	共通の材料と方法 97
I	緒 言 94	1	ケナガカブリダニの飼育 97
1	チャ害虫の特徴と防除上の問題点 94	2	薬剤感受性検定方法 97
2	チャ害虫としてのカンザワハダニ 94	III	薬剤(合成ピレスロイド剤)抵抗性個体群の選抜 ... 99
3	ハダニ類の生物的防除素材としてのカブリダニ類 95	1	薬剤感受性の個体群間変異 99
4	チャにおけるカンザワハダニの生物的防除の特徴と問題点 96	2	茶園での淘汰 100
		3	考 察 102
		IV	薬剤抵抗性系統の特性 104

〒428-8501 静岡県榛原郡金谷町金谷 2769
農林水産省野菜・茶業試験場茶栽培部
現・〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3
独立行政法人農業環境技術研究所

[†] 本論文は京都大学学位審査論文(平成 12 年 7 月)をもとに加筆・編集したものである。本報告の一部は、日本応用動物昆虫学会誌34: 171-174 (1990); Applied Entomology and Zoology 29: 203-209 (1994); 日本応用動物昆虫学会誌40: 121-126 (1996), 日本応用動物昆虫学会誌41: 1-5 (1997), 日本応用動物昆虫学会誌46: 243-251 (2002), BioControl 48: 207-221 (2003)において発表した。

1 薬剤抵抗性の発達程度	104
2 生態的パフォーマンスの比較	106
3 抵抗性の安定性	108
4 考察	110
V 薬剤抵抗性系統の活動検証と薬剤の影響	112
1 カンザワハダニに対する制御効果	112
2 各種薬剤の影響	115
3 考察	117
VI チャ害虫管理における薬剤抵抗性系統の利用	120
1 材料と方法	120
2 結果および考察	122
VII 総合考察	129
摘要	132
引用文献	133
Summary	136

I 緒 言

1 チャ害虫の特徴と防除上の問題点

チャ *Camellia sinensis* (L.) O. KUNTZE は、中国南部原産の木本性常緑樹である。我が国では関東以西の温暖地を中心に、1999年には50,000haの茶園から400,000tの生葉が生産され、荒茶に加工されている（農林水産省、2000）。繁殖は挿し木で行われ、挿し木後6~7年で安定的な収穫が可能な成木に生長する。収穫部位は新芽であり、年間3~4回の収穫（摘採）が行われる。また樹高の高進に伴う作業環境の悪化を改善するため、5~7年周期で樹の葉層部分が大きく刈り落とされる中切り更新が行われる。

チャではわが国からは100種以上の害虫が記録されている（南川ら、1979）。そのうち約10種が防除を要する主要害虫であり、加害習性により吸汁性害虫とそしゃく性害虫に分類される。また加害部位別には主に新芽、古葉、枝幹、および根を加害する種に分類される（Fig. 1）。これらは周年を通じて茶園に生息して生活史を完結させている。そして現在のチャ害虫防除方法で主要な防除法の一つである化学的防除すなわち農薬使用においては、茶に加工される新芽への薬剤の直接散布を避けた被害防止をはかるため、チャの生育を考慮した新芽萌芽時期前の害虫密度抑制が重視される。使用される薬剤には、残留と残臭の両面から厳しい安全使用基準が定められている。

第2次大戦以降、特に1950年代後半から有機合成殺虫剤がチャの害虫防除にも用いられるようになり高品質・多収が実現した反面で、その多用が進むにつれ農薬残留

の危険性、害虫の薬剤抵抗性発達、そして天敵相の貧弱化による害虫のリサージェンス（誘導多発生）などの新たな問題が出現したことから、薬剤使用の削減が一貫して求められている。これらの要因に加えて健康飲料としてのイメージ保持、飲用から食用への摂取方法の拡大にともなう農薬安全使用基準の強化も農薬削減の動きを一層加速させている。

以上の背景から、重要害虫のハマキガ類 (*Homona magnanima* DIAKONOFF, *Adoxophyes honmai* YASUDA) を対象に、薬剤以外の防除法として性フェロモン利用による交信かく乱法と顆粒病ウイルス利用が実用化された（大泰司、1988；野中ら、1994）。さらにハマキガ類、クワシロカイガラムシ *Pseudaulacaspis pentagona* (TARGIONI)、カンザワハダニ *Tetranychus kanzawai* KISHIDA では、在来天敵の発生生態に配慮した薬剤の使用が重視されてきた（高木、1974；浜村、1986；中川、1993）。しかしその一方で、新芽吸汁性のチャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* HOOD やチャノミドリヒメヨコバイ *Empoasca onukii* MATSUDA では薬剤以外の有効な防除素材が未開発であり、化学的防除は依然として必須の防除手段である。

このようにチャ害虫では薬剤以外の防除素材の開発程度が種により異なるので、薬剤使用削減のためには、個々の害虫はいうまでもなく、異なる害虫間でも相互に矛盾しない防除手段を合理的に統合した総合的害虫管理 (IPM) の実行が重要である。

2 チャ害虫としてのカンザワハダニ

ハダニ類は節足動物門蛛形綱ダニ亜目 (Acari) に属する体長0.5mm前後の微小な動物であり、増殖率が高く、一般に寄主範囲が広いため、多くの農作物での重要害虫である。有機合成殺虫剤の利用により多発した害虫類の中でも、とくに化学農薬使用による天敵の減少との密接な関連性が指摘されている (RIPPER, 1956)。わが国のチャにはカンザワハダニ、コウノシロハダニ *Eotetranychus sexmaculatus* (RILEY)、チビコブハダニ *Oligonychus ilicis* (MCGREGOR)、マンゴーハダニ *Oligonychus coffeae* (NIETNER) の4種のハダニが寄生し (南川ら、1979；EHARA, 1999)、なかでもカンザワハダニは、チャのアカダニとして古くから知られ、チャ、果樹、野菜、花き類の重要害虫である。一般的には本種は春から初夏と秋にそれぞれ個体数のピークがある二山型の季節消長を示し、被害を受けた新葉から製造された茶には品質低下が起きるほか、著しく多発した場合には、落葉や生育

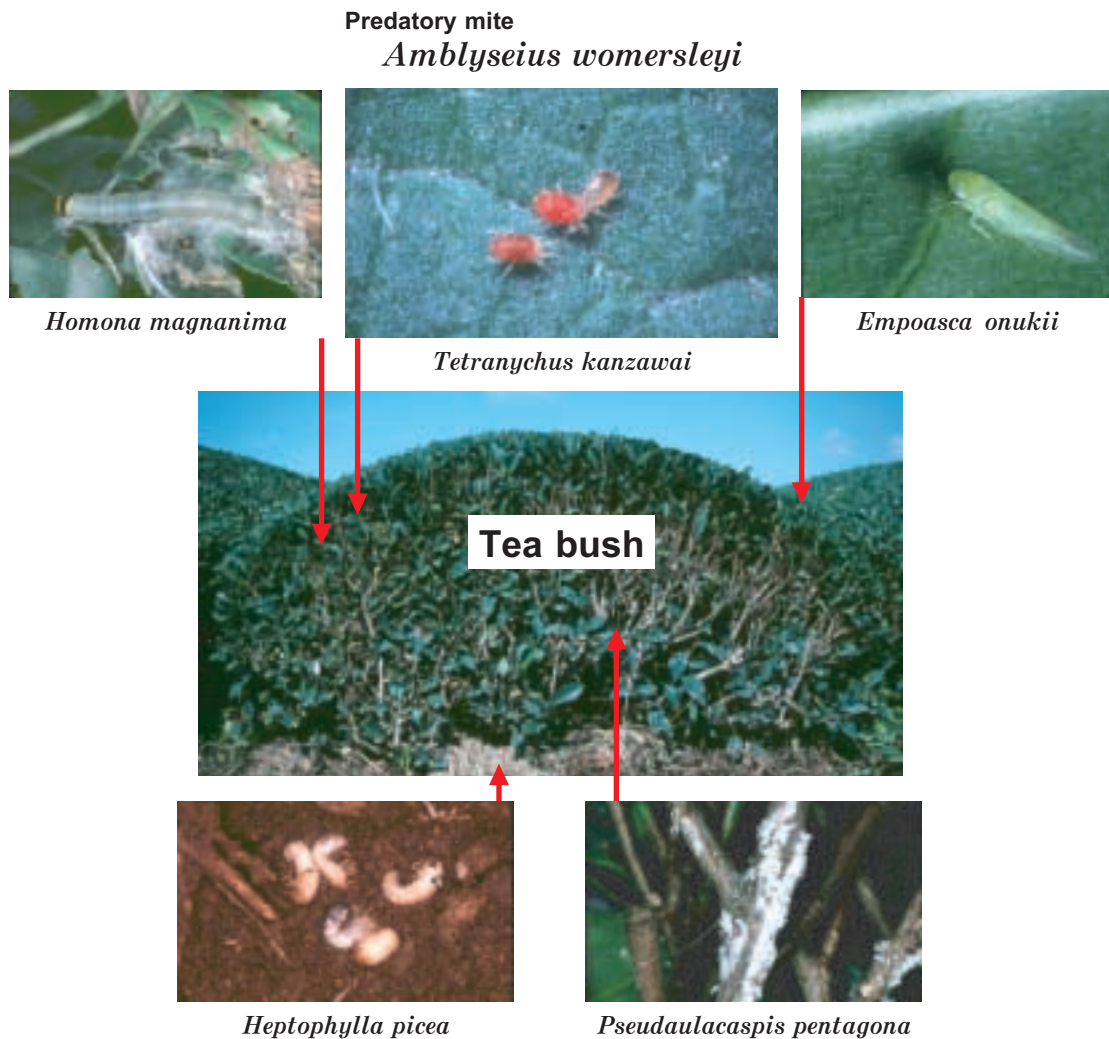


Fig. 1 Major pests and their injuring parts on tea plant.

抑制による収量の低下が起きる。

刑部（1967a）は本種の発生生態と被害に関する総合的研究から、薬剤（殺ダニ剤）使用を有効な防除法として示した。しかし、1960年代はじめに、本種の防除に用いられた phenkapton に対する薬剤抵抗性が生じて以降（刑部、1967b）、1970年代に dicofol、1980年代に入ると cyhexatin など主要な殺ダニ剤に対する抵抗性が報告された（刑部、1968；浜村、1985）。新規殺ダニ剤の開発とそれに続く抵抗性発達という悪循環のために、現在では本種の薬剤抵抗性発達の状況は非常に複雑であり（澤崎ら、1989；小澤、1994）、特定の基幹的な薬剤による効果的防除が困難になっている。そのため薬剤に依存しない防除法の開発がカンザワハダニ防除上の重要課題とされてきた。

3 ハダニ類の生物的防除素材としてのカブリダニ類

天敵による害虫の生物的防除は薬剤に依存しない重要な防除手段である（DeBACHら、1990）。カブリダニ類はハダニ類と同じくダニ亜目（Acari）カブリダニ科（Phytoseiidae）に属し、ハダニ類など植物寄生性ダニ類の重要な捕食性天敵として注目されてきた（CHANT、1985）。なかでもチリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* ATHIAS-HENRIOTでは大量増殖・放飼技術が確立され、欧米を中心に施設栽培での *Tetranychus* 属ハダニに対する生物的防除が実用化されている。わが国へも1966年に導入以降、各種の作物への利用が検討され（森ら、1977）、1995年にはイチゴのハダニ類を対象に農薬登録され、利用が期待されている。

一方、わが国でも、種々の植物上での土着カブリダニ類とハダニ類の発生消長調査、ならびにハダニ類を用いた飼育実験から、ケナガカブリダニ *Amblyseius womersleyi*

SCHICHA, ニセラーゴカブリダニ *Amblyseius eharai* AMITAI et SWIRSKIなどが、ハダニ類の個体数制御に有効な捕食性天敵としてその利用が有望視されている(江原ら, 1993; 森, 1964; 森ら, 1993; MORIら, 1979; SAITOら, 1981; TANAKAら, 1977; 氏家ら, 1970)。

ハダニ類の生物的防除を進める場合、対象外の病害虫に用いられる薬剤の影響を避けるため、天敵に影響がない選択性の高い薬剤や薬剤抵抗性天敵の利用が必要とされ、カブリダニ類は薬剤抵抗性を有する天敵としても注目されている。北米のリンゴ園では有機リン剤などに抵抗性を示す土着のカブリダニの系統が選抜・放飼され、ハダニ類とその他の主要害虫の同時防除に成功している(HOYT, 1969; HOY, 1985)。このように農薬との共存を図る点からもカブリダニ類はハダニ類の有効な天敵といえる。

4 チャにおけるカンザワハダニの生物的防除の特徴と問題点

チャのカンザワハダニに対する生物的防除の先駆的な試みとして、刑部(1975)はチリカブリダニを茶園内のハダニ多発部分に放飼した。しかしその効果は放飼点周囲に限定されたうえ、広範囲での利用に必要な個体数も確保できず、実用化には至らなかった。

茶園に分布する土着カブリダニ類としては、ケナガカブリダニ、ニセラーゴカブリダニ、キイカブリダニ *Indoseiulus liturivorus* EHARA, ミヤコカブリダニ *Amblyseius californicus* (MCGREGOR) が報告されている(刑部, 1967a; 浜村, 1986; 高橋, 1999)。なかでも浜村(1986)はケナガカブリダニの茶園での発生生態と薬剤感受性を調査し、静岡県中部の茶園に分布する個体群は有機リン剤やカーバメイト剤抵抗性を有し、これらの薬剤散布下でも生残してカンザワハダニを制御することを明らかにした。このような背景から茶園でのカンザワハダニ以外の害虫防除には、ケナガカブリダニの活動を阻害しない有機リン剤やカーバメイト剤による防除体系が重視され、1980年代前半の静岡県内の茶園でのカンザワハダニは少発生の傾向が続いた。

合成ピレスロイド系殺虫剤(以下、合ピレ剤と略記)は、除虫菊の殺虫成分ピレトリンと類似した構造をもち、チャノキイロアザミウマ、チャノミドリヒメヨコバイなどの新芽吸汁性害虫に低用量で高い効果を示し、ほ乳動物や鳥類に対する急性毒性が低い長所を備えている。合ピレ剤を含む薬剤は、有機リン剤やカーバメイト剤の長期使用によるとみられる防除効果減退が各種のチャ害虫で目立ちだした1980年代中頃からチャでの登録数が増

加した(伊藤, 1990)。1997年にはこの合ピレ剤を含む薬剤はチャの登録農薬(殺虫剤)の約4分の1を占める(日本植物防疫協会, 1997)。しかし合ピレ剤が散布された茶園では、カンザワハダニの異常な多発いわゆるリサージェンスが問題となった(浜村, 1986; KODOMARI, 1988など)。すなわち合ピレ剤によるカンザワハダニの防除効果は低い、ケナガカブリダニは合ピレ剤感受性が非常に高いため合ピレ剤散布後の茶園からケナガカブリダニが一掃され、捕食による制御要因が消えたカンザワハダニが急増するようになった(浜村, 1986)。

殺ダニ剤利用によるカンザワハダニの防除は抵抗性発達や薬剤投入量増加につながるおそれがあるために、当初のリサージェンス対策は合ピレ剤の使用自粛や最小限の使用であった。しかしその一方で難防除とされる新芽吸汁性害虫に対して合ピレ剤の効果が広く認められたことから、リサージェンスの危険性を軽減する合ピレ剤使用方法の検討も現場段階で次第に進み、最近では、カンザワハダニが低密度になる夏季に、ハダニに対する副次的な防除効果も有する合ピレ剤(例えば fenprothrin や bifenthrin など)が新芽吸汁性害虫に対して使用されている(静岡県農政部, 1997)。またハマキガ類で、キチン合成阻害剤に対する薬剤抵抗性の発達が確認された時には(打土井ら, 1994)、作用機作が異なる合ピレ剤 bifenthrin が代替薬剤に挙げられている(小杉, 1997)。

このように利用面での工夫が進んだものの、カンザワハダニとケナガカブリダニの発生と合ピレ剤利用が重なった場合にはリサージェンスの危険性があり、その防止手段としての殺ダニ剤使用は、薬剤使用増加とそれに伴う抵抗性発達の悪循環につながるであろう。そこでチャの害虫管理を考える場合には、合ピレ剤使用を前提にしたうえで、殺ダニ剤に強く依存しないハダニの防除手段を講じる必要があり、ハダニ制御能力を有するケナガカブリダニを合ピレ剤抵抗性天敵として機能させれば、カンザワハダニの生物的防除とハダニ以外の害虫への合ピレ剤も活用した化学的防除が両立した同時防除が期待される。

したがってチャ害虫の総合的管理技術を開発していく上でも、合ピレ剤抵抗性を示す新たな薬剤抵抗性系統を選抜し、その利用技術を確立する必要性がきわめて大きい。わが国に先だって合ピレ剤によるハダニ類のリサージェンスが問題化した北米のリンゴ園では、土着のオキシデンタリスカブリダニ *Typhlodromus occidentalis* (NESBITT) を合ピレ剤で淘汰した抵抗性系統を育成し、その放飼により合ピレ剤抵抗性個体群を定着させることで、ハダニのリサージェンス防止に成功した(HOYら,

1981; Hoyら, 1983). しかしこれまでケナガカブリダニでは有機リン剤・カーバメイト剤への抵抗性が報告されていたにとどまり(浜村, 1986), 合ピレ剤抵抗性系統の探索・利用を目的とした調査はこれまで全く行われていない。

5 本研究の目的

本研究の目的は、合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニを用いたカンザワハダニの生物的防除と新芽吸汁性害虫に対する化学的防除の両立を実証し、チャ害虫総合的管理への展望を示すことである。まず静岡県と鹿児島県の茶園を対象に個体群間での合ピレ剤感受性の変異を調査し、合ピレ剤による室内での淘汰も行って有望な抵抗性系統を得た。さらに野外の試験茶園においても、合ピレ剤を連続散布して抵抗性個体群の成立を促した(第III章)。

また合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニをハダニ類の生物的防除に利用するためには、薬剤抵抗性系統であっても発育・増殖などの生態的パフォーマンスが劣らないことが求められる。そこで選抜した合ピレ剤抵抗性系統と、日本各地から採集して確立した在来系統との間で発育期間、産卵能力、そして季節適応の指標となる休眠性を比較した。さらに大量増殖や、感受性個体群との交流が想定される野外への放飼時には、合ピレ剤抵抗性の安定性が必要となるので、長期間の累代飼育中における抵抗性の強さの変化、抵抗性系統と感受性系統の交雑で得られたF₁系統の合ピレ剤感受性を調査した(第IV章)。

これらの結果をもとに第V章以降は野外試験を主に行った。まずチャ栽培での合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニの有効性を示すため、小規模な茶園等に放飼した抵抗性系統によるカンザワハダニの制御を調べた。さらに抵抗性系統の制御能力を発揮させるためには、悪影響がある薬剤との併用を避けなければならない。そこで主要な殺虫剤・殺ダニ剤・殺菌剤に対する雌成虫と卵および幼若虫の感受性を調査した。また第VI章では合ピレ剤抵抗性系統が定着した茶園を用いて、合ピレ剤と抵抗性ケナガカブリダニの併用による複数害虫種の効果的制御を検証した。このときカンザワハダニ密度によってはケナガカブリダニの働きにも関わらず新葉への被害が生じ、追加的な殺ダニ剤散布の必要性が示されたので、要防除水準設定による合理的防除を行えるように、新葉に対する被害と両種の発生密度との関係も調査した。

最後に、これらの研究成果をもとに、ケナガカブリダニが優良系統の育種に適した天敵であることを論じ、チャ害虫の総合的管理に向けた実用的な薬剤抵抗性ケナガカブリダニの分布拡大手段と利用方法について総合的に考察した。

本論文の作成にあたり、終始懇切なる御指導と御校閲の労を賜った京都大学大学院農学研究科高藤晃雄教授、御校閲の労を賜った桑原保正教授、西岡孝明教授、津田盛也教授、武田博清教授に厚く御礼申し上げる。

また材料採集や薬剤散布状況に関する情報を御提供いただいた静岡県茶業試験場、鹿児島県茶業試験場をはじめ都府県茶業関係試験研究機関の方々、ケナガカブリダニの同定をいただいた茨城大学農学部後藤哲雄教授に御礼申し上げる。

さらに研究の遂行に御指導と御助言を頂いた元野菜・茶業試験場茶栽培部虫害研究室長本間健平博士、農業技術研究機構野菜茶業研究所河合章博士、浜村徹三博士、佐藤安志主任研究官、武田光能博士、近畿中国四国農業研究センター大泰司 誠虫害研究室長に厚く御礼申し上げます。また、実験材料の維持管理と野外調査に御協力を頂いた西村富子氏、故北原千鶴子氏、農業技術研修生に感謝申し上げます。

最後に農業技術研究機構中央農業総合研究センター矢野栄二博士、農業環境技術研究所松井正春博士には本論文のとりまとめにあたり種々ご配慮いただき御礼申し上げます。

II 共通の材料と方法

1 ケナガカブリダニの飼育

本論文を通して、室内実験に用いたケナガカブリダニの飼育を以下の手法で行った。カブリダニの餌としてナミハダ黄緑型 *Tetranychus urticae* KOCH を用い、その飼育はカブリダニの飼育場所から隔離された人工気象室(コイトロン)内で栽培したインゲンマメ(品種: 本金時)上で行なった。飼育条件は温度 25°C, 相対湿度 70~80% R. H., 日長 16L-8D とした (Fig. 2)。

ケナガカブリダニの飼育は、20~25°C, 70~80% R. H., 16L-8D 条件下の飼育室内で行なった。飼育方法は浜村(1991)に準じた。すなわち、プラスチック製トレー(W300mm, D200mm, H70mm)内に設置したスポンジ上へビニールシートを敷き、シート上にハダニが寄生したインゲンマメ葉を置き、ここにケナガカブリダニを導入して飼育を継続した。ハダニ寄生葉の交換は2~3日間隔で行なった。また、外部への逃亡を防止するためトレー内には水を張った (Fig. 3)。

2 薬剤感受性検定方法

本研究ではケナガカブリダニの各種薬剤に対する感受性検定を主に雌成虫で行った。卵、幼若虫に対する薬剤

感受性検定方法については該当のV章で述べる。供試薬剤は製剤化されたものを用い、殺菌剤については展着剤を10,000倍の濃度で加用した。

まず合ピレ剤に対する感受性検定 (Fig. 4) では、防腐剤 (クリスタルバイオレット) を加えた0.5%寒天ゲルを直径9cmのシャーレに注ぎ、固化後、ナミハダニの寄生したインゲンマメ葉 (直径約3cm) の葉裏を上側にして置き、腹部が肥大したケナガカブリダニ雌成虫を10~20頭接種した。寒天ゲルの周囲をあらかじめ切取り、水を張ってカブリダニの逃亡を防いだ。接種24時間後に死亡個体や歩行不能個体を取り除き、回転式薬

剤散布塔 (みずほ理化製) を用いて薬液を7.5ml (4 mg/cm² 相当量) 散布した。なお散布直前にはハダニの吐糸を細筆で取り除き、虫体に薬液が十分付着するように留意した。このとき合ピレ剤特有の忌避効果によりカブリダニが葉片から逃亡するおそれがあるので、処理後の被散布葉を新たに準備した直径約6cmのハダニ寄生葉上に置き、前述の累代飼育条件に保った。生死の判定は処理後48時間目に行い、上記の2枚のハダニ寄生葉を調査して、生存虫、歩行不能虫、死亡虫、水没虫、行方不明虫に分類した。歩行不能虫は死亡虫とみなし、水没虫、行方不明虫は死亡率の計算から除外した。



Fig. 2 Rearing chamber of the Two spotted spider mite, *T. urticae*, used as the prey for the predatory mite, *A. womersleyi*. Temperature is kept from 20–25°C throughout the year and photoperiod is synchronized with outdoor condition.

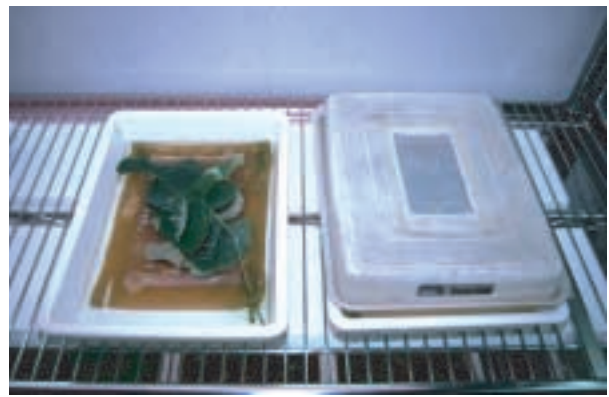


Fig. 3 Rearing apparatus of *A. womersleyi* used in the present study. Each strain of the *A. womersleyi* was reared on the spider mite infested kidney bean leaves.



Rotary spray tower (manufac. by Mizuho Scientific Co. LTD.)

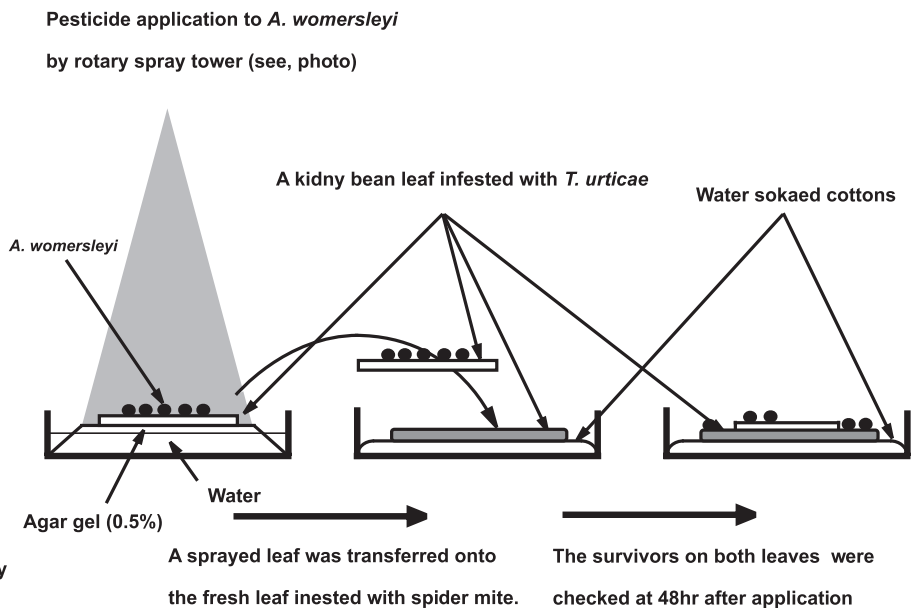


Fig. 4 Procedure of the susceptibility test of *A. womersleyi* to synthetic pyrethroid.

合ピレ剤以外の薬剤については、直径9cmのプラスチックシャーレ内の湿らせた脱脂綿上にハダニ寄生葉（直径約3cm）を置き、ここへカブリダニ雌成虫を接種して24時間後に薬剤を散布し、散布後48時間目に生死を判定した。いずれの場合も単一濃度での検定では原則として1反復20~30頭を供試し、2~4反復分の結果をまとめて死亡率を算出した。また3~5濃度段階で死亡率を調べ、プロビット法により供試薬剤の LC_{50} 値を算出した。

Ⅲ 薬剤（合成ピレスロイド剤）抵抗性 個体群の選抜

ケナガカブリダニの合ピレ剤感受性は非常に高いことが報告されており（浜村，1986），合ピレ剤との併用を図るためには新たな抵抗性個体群が必要である。そこで合ピレ剤が散布された茶園に残存するケナガカブリダニを採集し、はたして抵抗性個体群の選抜や抵抗性強化につながるような合ピレ剤感受性の変異を検出できるかどうか、合ピレ剤散布歴のない茶園や他作物から採集した個体群も含めて、薬剤感受性の実態調査を行った。

薬剤抵抗性が問題になりやすいハダニ類では同一系統の薬剤が連用されると短期間で抵抗性が顕在化することおよび、圃場での薬剤淘汰により薬剤に対する抵抗性個体群を生じさせ得ることが知られている（浅田，1989）。天敵であるケナガカブリダニでも、このように意図的な抵抗性発達を起こすことができれば、有望な薬剤抵抗性系統を効率的に育成できるであろう。そこで、ケナガカブリダニの合ピレ剤抵抗性が茶園への合ピレ剤の連続的散布によって生じるかどうかを調べた。

1 薬剤感受性の個体群間変異

a 材料と方法

調査したケナガカブリダニ個体群は、静岡県、鹿児島県、沖縄県の茶園で採集した個体群と、岩手県のリンゴ園と北海道のダイズ畑から採集した各1個体群の合計20個体群である。静岡県では、東部（沼津市）地域と中部地域（島田市および金谷町）の個体群を選び、東部からの個体群は過去に合ピレ剤が散布された茶園で採集し、中部からの個体群は散布されていない茶園から採集した。採集に際してはケナガカブリダニまたはカンザワハダニの寄生した茶葉をそのままビニール袋に採取した。これらを携帯用クーラーに保管して持ち帰った後、カブリダニの成虫、幼若虫および卵を実体顕微鏡下で細筆を使ってナミハダニの寄生したインゲンマメ葉に移し、累

代飼育を開始した。そして雌成虫について必要個体数を確保して薬剤感受性を検定した。薬剤感受性検定に用いた薬剤はいずれも市販品の有機リン剤（methidathion 40%乳剤）、カーバメイト剤（methomyl 45%水和剤）、合ピレ剤（permethrin 20%水和剤）である。Methidathion と methomyl では19個体群、permethrin については20個体群について、常用濃度の1/10程度の濃度で感受性検定を行った。さらに静岡県産の3個体群と鹿児島県産の2個体群については、これら薬剤の LC_{50} 値を求めて薬剤抵抗性の発達程度を比較した。なお一連の調査は採集後18ヶ月以内に終了した。

b 結果

3薬剤に対する一定濃度での検定結果を、個体群ごとにTable 1に示す。Methidathion に対する静岡県の個体群の感受性は全体に低く、40ppmでの死亡率は2.9~23.3%であった。また鹿児島県産の個体群についても枕崎個体群（Makurazaki）を除き同様の結果が得られた。これに対し、名護、北海道、盛岡個体群の死亡率はいずれも88%以上に達した。

Methomyl では50ppmでの死亡率をみると、静岡県産の個体群すべてが8.3~43.9%の低い値を示した。一方、他の個体群では、鹿児島県の青戸個体群（Aoto）を除き、いずれも70%以上の高い死亡率を示した。

合ピレ剤 permethrin に対する感受性は静岡県東部で採集した個体群で明らかに低い傾向にあり、その死亡率はいずれも50%以下であった。とくに平沼の2個体群（Hiranuma-1と-2）の死亡率は10%にも満たなかった一方、その他個体群では、静岡県中部の岡田原（Okadahara）個体群の死亡率59.4%が最も低く、15個体群のうち10個体群で死亡率が80%以上に達していた。

Table 2には、静岡からの3個体群、鹿児島からの2個体群の合計5個体群について3薬剤の LC_{50} 値を示す。Methidathion では井出（Ide-1）個体群がMakurazaki 個体群の2.5倍、methomyl でもIde-1 個体群は菊永（Kikunaga）個体群の11.2倍の抵抗性比を示した。また permethrin ではHiranuma-1 個体群は南原（Minamihara）個体群の34.3倍の抵抗性比を示した。Methidathion, methomyl, permethrin の常用濃度はそれぞれ200~400ppm, 300~450ppm, 100~200ppmなので、Hiranuma-1 個体群とIde-1 個体群での各薬剤の LC_{50} 値は常用濃度に近く、とくにHiranuma-1 個体群ではmethidathion と permethrin の LC_{50} 値、またIde-1 個体群ではmethidathion と methomyl の LC_{50} 値が常用濃度と同じかそれ以上に達していた。

Table 1. Susceptibility of 20 *A. womersleyi* populations against 3 pesticides, methidathion (40%, EC), methomyl (45%, WP) and permethrin (20%, WP)

Population	Date of collection	No. of mites collected	Methidathion (40ppm)	% Mortality ^a (n) Methomyl (50ppm)	Permethrin (20ppm)
Shizuoka Prefecture					
Central region					
Kanaya-1	Jun. 23, 1988	>100	10.9 (55)	11.4 (35)	93.2 (73)
Kanaya-2	Jun. 17, 1988	29	16.2 (69)	9.1 (33)	82.5 (40)
Kyuhatu	Jun. 2, 1988	47	9.8 (41)	8.3 (36)	68.8 (48)
Minamihara	Jun. 7, 1988	>100	2.9 (69)	17.4 (46)	87.5 (40)
Numabushi	Jun. 2, 1988	>100	15.3 (59)	30.2 (43)	75.8 (62)
Okadahara	Jun. 2, 1988	>100	12.7 (55)	8.9 (56)	59.4 (64)
Eastern region					
Hiranuma-1	May 15 & Jun. 27, 1989	74	3.7 ^b (54)	18.0 ^c (50)	4.8 (84)
Hiranuma-2	Jun. 27, 1989	>100	—	—	8.3 (60)
Ide-1	Jun. 8, 1988	63	23.3 (60)	43.9 (57)	27.9 (86)
Ide-2	Jun. 8, 1988	16	20.0 (45)	35.7 (56)	47.7 (44)
Nekoya	Jun. 8, 1988	59	8.6 (35)	21.3 (61)	38.3 (60)
Kagoshima Prefecture					
Aoto	Jun. 9, 1988	47	21.7 (46)	32.4 (34)	74.1 (58)
Atuji	Jun. 7, 1988	10	27.3 (33)	96.8 (31)	91.2 (57)
Kikunaga	Jun. 7, 1988	>100	8.6 (35)	70.4 (54)	93.5 (31)
Makurazaki	Jun. 1, 1988	>100	45.0 (114)	74.3 (70)	91.5 (82)
Ukibe	Jun. 1, 1988	>100	9.1 (33)	82.2 (45)	100.0 (14)
Yokomine	Jun. 7, 1988	33	11.1 (45)	74.3 (70)	74.1 (81)
Okinawa Prefecture					
Nago	Dec. 6, 1990	8	88.4 (69)	98.8 (84)	80.0 (60)
Iwate Prefecture					
Morioka	Sep. 8, 1988	>100	91.9 (37)	100.0 (53)	92.5 (40)
Hokkaido					
Naganuma	Aug. 15, 1988	10	95.2 (21)	83.6 (61)	80.4 (107)

^a Abbott's correction was not applied. The mortality of the Hiranuma-1 population with distilled water (control) was 9.8% for an average of 13 replicates ranging from 0 to 20%.

^b Mortality at 50ppm.

^c Mortality at 62.5ppm.

以上から、静岡県東部の茶園において permethrin 抵抗性個体群の発生が明らかになり、同時にこれら個体群は methidathion, methomyl 抵抗性も兼ね備えていた。

2 茶園での淘汰

a 材料と方法

1) 調査茶園の設定と薬剤散布

1991年3月に静岡県榛原郡金谷町、野菜・茶業試験場内の東園6号圃場（‘やぶきた’成木園、栽植面積4.0a）の一部分（西側4うね）1.3aの上部2~3mに黒色寒冷紗（遮光率約50%）を設置し、強風雨と強光線を防いで、

カンザワハダニが多発しやすい茶園の条件を整えた。その後、1991年5月~10月と92年5月~8月に、1週間から10日間隔で合計22回、4種類（fenprothrin, permethrin, fenvalerate, bifenthrin）の合ピレ剤を動力噴霧器により散布した（Table 3）。散布量は10aあたり200~400ℓとし、展着剤を10,000倍の濃度で加用した。

2) ケナガカブリダニの発生消長と薬剤感受性の経時的変化

合ピレ剤散布条件下での抵抗性ケナガカブリダニ個体群の発生状況を明らかにするため、薬剤散布と併行して定期的にカンザワハダニとケナガカブリダニの密度調査

Table 2. LC₅₀ values for three pesticides for five *A. womersleyi* populations

Pesticide	Population	Concentration-mortality regression line ^a	LC ₅₀ value (ppm) with 95% C.L.	Inter-strain ratio ^b
Methidathion (40%, EC)				
Shizuoka prefecture				
	Hiranuma-1	$y=5+2.43(x-2.39)$	265.9 (178.5-396.1)	2.3
	Ide-1	$y=5+3.24(x-2.40)$	292.2 (163.1-523.9)	2.5
	Minamihara	$y=5+2.24(x-2.27)$	185.7 (152.1-226.8)	1.6
Kagoshima prefecture				
	Kikunaga	$y=5+3.76(x-2.09)$	123.8 (107.9-142.1)	1.1
	Makurazaki	$y=5+2.38(x-2.06)$	115.5 (94.8-140.8)	1.0
Methomyl (45%, WP)				
Shizuoka prefecture				
	Hiranuma-1	$y=5+3.10(x-2.13)$	134.4 (64.4-280.3)	3.9
	Ide-1	$y=5+1.33(x-2.58)$	383.0 (284.6-515.4)	11.2
	Minamihara	$y=5+1.35(x-2.08)$	120.8 (87.5-166.8)	3.5
Kagoshima prefecture				
	Kikunaga	$y=5+2.43(x-1.53)$	34.2 (27.0-43.4)	1.0
	Makurazaki	$y=5+1.87(x-1.88)$	76.6 (63.4-92.6)	2.2
Permethrin (20%, WP)				
Shizuoka prefecture				
	Hiranuma-1	$y=5+2.98(x-2.48)$	301.9 (263.8-345.5)	34.3
	Ide-1	$y=5+1.42(x-1.82)$	66.5 (50.6-87.5)	7.6
	Minamihara	$y=5+2.64(x-0.94)$	8.8 (7.4-10.3)	1.0
Kagoshima prefecture				
	Kikunaga	$y=5+2.19(x-1.17)$	14.6 (12.2-17.5)	1.6
	Makurazaki	$y=5+2.26(x-1.21)$	16.2 (13.7-19.1)	1.8

^a $x = \log(\text{Concentration (ppm)})$, $y = \text{value of probit}$.

^b Makurazaki=1.0 (Methidathion), Kikunaga=1.0 (Methomyl) and Minamihara=1.0 (permethrin).

を行った。調査茶園の中央2うねを長さ2.5mごとに12区画に分割し、各区画あたり摘採面と両裾部分から50枚ずつ合計100枚の成葉をランダム抽出して、ハンドルーペを用いて葉裏を観察し、両種の雌成虫数を計数した。

また薬剤散布期間中の1991年7月、8月、10月、1992年7月にこの試験区内から採集したケナガカブリダニ雌成虫をもとに確立した飼育系統について、合ピレ剤 fenpropathrin10%乳剤の50~100ppm (1000~2000倍) に対する感受性を検定した。1993年以降は、この茶園への合ピレ剤散布回数を年間1回にとどめ、1993年6月、1994年6月にもケナガカブリダニを採集して合ピレ剤に対する感受性を継続調査した。

b 結 果

Fig. 5に両種の発消長を葉あたり雌成虫数で示す。1991年のカンザワハダニ密度は5月下旬から上昇し始め、その後急激に増加して7月4日に最高で2.3頭/葉のピークに達した後は、急激に減少して低い密度で経過

した。一方ケナガカブリダニは7月に入って初めて観察されたが、その密度はピーク時でも0.023頭/葉と低く、カンザワハダニのピーク密度の1/100であった。

引き続き薬剤散布を継続した1992年は、両者の発生消長は前年とは大きく異なった。カンザワハダニは4月から観察されたが密度の急激な上昇は見られず、6月29日にわずか0.3頭/葉に達した後はさらに減少した。一方ケナガカブリダニの発生は5月中旬にすでに確認され、6月中旬以降は急激に密度が上昇し7月7日に0.1頭/葉と前年の5倍近くにまで増加した。ケナガカブリダニは通常葉の裏側に生息しているが、この時には餌不足のため葉の表面を活発に歩行する個体や、新梢の先端部に集合する個体が観察された。また餌不足によるカブリダニ同志の共食いも観察された。ピークに達した後は、密度は急減し、8月になると調査茶園では発見できなくなった。以上のように薬剤散布が2年目に入るとケナガカブリダニの高密度な発生が観察された。

調査期間中に採集されたケナガカブリダニの

Table 3. Application records of synthetic pyrethroids to the tea field

Date	Pesticide (% AI, Formulation)	Dilution	Amount of application ^a
1991			
May 20	Fenpropathrin (10%, EC)	1000	400
28	Permethrin (20%, EC)	2000	300
June 7	Fenvalerate (20%, EC)	1000	250
19	Fenpropathrin	1000	200
July 3	Fenpropathrin	1000	200
11	Fenpropathrin	1000	200
20	Fenpropathrin	1000	200
29	Fenvalerate	1000	200
Aug. 5	Fenpropathrin	1000	200
Sep. 4	Fenpropathrin	1000	200
11	Permethrin	1000	200
1992			
May 15	Bifenthrin (2%, WP)	1000	250
22	Permethrin	1000	250
29	Permethrin	1000	250
June 7	Bifenthrin	1000	250
12	Fenpropathrin	1000	250
22	Permethrin	1000	250
29	Fenpropathrin	1000	250
July 7	Permethrin	1000	250
16	Bifenthrin	1000	250
27	Fenpropathrin	1000	250
Aug. 4	Permethrin	1000	250

^a Liter/1,000m².

fenpropathrin 10%乳剤 1000 倍および 2000 倍に対する死亡率の変化を Fig. 6 に示す。1000 倍 (100ppm) での死亡率は 1991 年 7 月に採集された個体群では 100%であったが、薬剤散布回数が増加するにつれて死亡率が低下し、92 年 7 月に採集された個体群では fenpropathrin 10%乳剤 1000 倍に対する死亡率は 12.5%，2000 倍では 0%となった。この茶園への合ピレ剤散布回数を年 1 回にとどめた 93 年以降に採集された個体群 (Kanaya93, 94) でも fenpropathrin 1000~2000 倍での死亡率が 16.4~19.4%であり、他の合ピレ剤、permethrin、fluralinate についても同様の結果が得られた (Table 4)。

3 考 察

a 薬剤感受性の個体群間変異

ケナガカブリダニ個体群間には薬剤感受性に著しい変異があり、とくに静岡県東部の個体群は合ピレ剤抵抗性であることが本研究により初めて明らかにされた (Table 1, 2)。ほぼ同じ方法による、薬剤散布を受けな

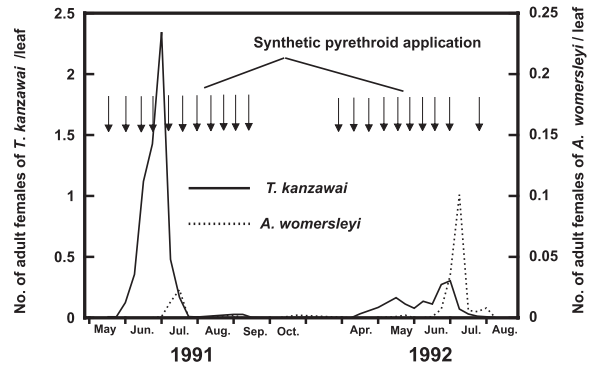


Fig. 5 Population density of *T. kanzawai* and its predator *A. womersleyi* in the tea field under synthetic pyrethroid treatment.

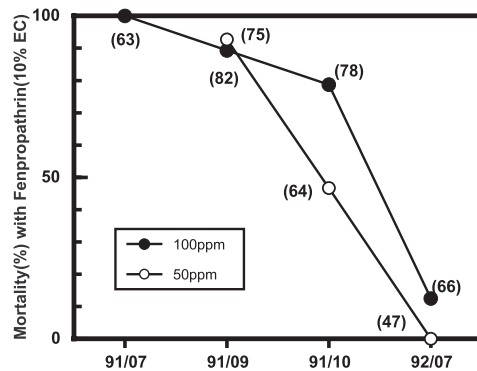


Fig. 6 Changes in the mortality of *A. womersleyi* collected periodically from the synthetic pyrethroid sprayed tea field. Susceptibility test was finished within 4~7 months after sampling from the tea field. Numerals in parentheses are the number of individuals tested.

い感受性個体群での調査 (浜村, 1986; 井上ら, 1987) では methidathion 乳剤, methomyl 水和剤の LC₅₀値はいずれも 1ppm 以下, また permethrin 水和剤でも 5ppm 以下なので, 有機リン剤 methidathion での LC₅₀値が 100ppm を越えた鹿児島県の茶園の個体群 (Kikunaga, Makurazaki 個体群) にも抵抗性発達が明らかに起きている。またこれまで茶園以外の施設栽培ブドウ園, ナシ園から採集された本種では薬剤感受性調査では有機リン剤感受性などに変異はあっても, 茶園の抵抗性個体群に匹敵する抵抗性は確認されていない (浜村, 1986; 井上ら, 1987; 真梶ら, 1986; 内田, 1986)。また SEKITA (1985) も日本のリンゴ園からは薬剤抵抗性を示すカブリダニ個体群を発見していない。本研究でもリンゴ園とダイズ畑では各 1 個体群の調査であるが, いずれ

Table 4. Susceptibility to synthetic pyrethroid of *A. womersleyi* populations from an experimental tea field.

Population	Date of collection	Date of test	Pesticides (% AI and formulation type)	Concentration (ppm)	% Mortality ^a (n) ^b
Kanaya92	July 92	Dec. 92	Fenpropathrin (10%, EC)	100	12.5 (66)
		Dec. 92		50	0.0 (47)
		Dec. 92		25	3.4 (46)
		Feb. 93	Fluvalinate (20%, WP)	100	17.6 (31)
Kanaya93	June 93	Apr. 94	Fenpropathrin (10%, EC)	100	14.8 (38)
		Apr. 94		50	19.4 (66)
		Apr. 94		25	23.5 (65)
Kanaya94	June 94	June 94	Fenpropathrin (10%, EC)	50	11.2 (40)
		June 94	Permethrin (20%, WP)	100	13.6 (52)
		June 94	Fluvalinate (20%, WP)	100	7.7 (43)
Kanaya91 ^c	Oct. 91	Dec. 91	Fenpropathrin (10%, EC)	100	85.6 (51)

^a Abbott's correction was applied to the mortality calculation.

^b Numbers of mites tested at each concentration.

^c Collected from a tea field under conventional control.

も薬剤感受性は非常に高かった。以上からケナガカブリダニの薬剤抵抗性発達は茶園個体群だけに見られる現象と考えられる。

薬剤感受性検定方法や薬剤の剤型に差異があるため、今回の結果を他の薬剤抵抗性カブリダニ類での結果と一概に比較できないが、今回発見された合ピレ剤抵抗性を示した Hiranuma-1 の permethrin に対する LC₅₀ 値 301.9 ppm は、北米産フェラシスカブリダニ *Amblyseius fallacis* (GARMAN) の permethrin 抵抗性系統での LC₅₀ 値 90 ppm (STRICKLER ら, 1982), また同じ北米産オキシデンタリスカブリダニの permethrin 抵抗性系統での LC₅₀ 値 38.1 ppm (HOY ら, 1981) を上回った。

一般に昆虫やダニ類の薬剤抵抗性の発達程度は薬剤による淘汰回数を反映する。そこで Table 2 に示した 5 個体群のうち、Minamihara, Hiranuma-1, Ide-1 個体群を採集した茶園での合ピレ剤散布歴に注目すると、Hiranuma-1 個体群を採集した茶園では 1985 年頃から合ピレ剤が使用され、特に 1987 年には fenvalerate 混合剤 4 回、cypermethrin 1 回、fluvalinate 混合剤 1 回、1 年で合計 6 回も合ピレ剤が散布されていた。Ide-1 個体群を採集した茶園でも、1984~87 年に fenvalerate 混合剤が合計 5 回散布されていた。これに対し、Minamihara 個体群を採集した茶園では合ピレ剤は全く散布されていなかった。このように合ピレ剤散布回数と各個体群の permethrin 抵抗性との間には強い関連性

が示唆された。また、Ide-1 個体群の濃度-死亡率プロビット回帰直線式の傾きも他の 2 個体群に比べ緩やかで (Table 2), 直線は両者の中間に位置することから Ide-1 個体群の permethrin 抵抗性は発達途上と考えられた。これらのことから、permethrin に対する抵抗性の発達は一連の合ピレ剤散布の結果と推測できる。

北米のフェラシスカブリダニでも合ピレ剤が 3 年間で 20 回以上散布されたリンゴ樹から合ピレ剤抵抗性個体群が発見され (STRICKLER ら, 1981), このような個体群をもとに確立された薬剤抵抗性系統は数種の合ピレ剤に交差抵抗性を示した (CROFT ら, 1983)。本研究でも Hiranuma-1 系統の permethrin 抵抗性発達は fenvalerate 混合剤など permethrin 以外の数種の合ピレ剤散布回数を反映することから、合ピレ剤間の交差抵抗性が推測される。

b 野外茶園での薬剤淘汰による抵抗性個体群の選抜

連続散布を開始した 1991 年は、通常、茶園でのケナガカブリダニ密度が上昇する 6 月になってもカブリダニは観察されなかった。また 1988 年に同じ茶園で採集したケナガカブリダニ (Kanaya-2 個体群) の permethrin 20 ppm での死亡率は 90% 以上に達し合ピレ剤感受性が高く (Table 1), 1988~90 年はこの茶園への合ピレ剤散布は 1 回だけにとどまっていた。以上のことから、調査茶園では淘汰開始直後から合ピレ剤感受性の高いケナガカブリダニは排除されていたと推測され

る。その後7月にごく低密度ながらケナガカブリダニが出現したことから、この時期から個体群の中で感受性が低下したものが増加しはじめたと推測される。1992年の調査茶園での発生状況は前年と大きく異なり、6月にケナガカブリダニ密度が増加し、カンザワハダニの密度は前年より低く抑えられ、1992年7月以降に採集したカブリダニの fenpropathrin 感受性が急激に低下したことから、合ピレ剤抵抗性個体群の発生は散布2年目から顕著になり、カブリダニへの薬剤散布の悪影響はほとんどなくなったと考えられる。以上のように茶園への連続的な薬剤散布は合ピレ剤抵抗性個体群を選抜するのに有効であった。今後、新たな薬剤抵抗性天敵の育成手段として適用可能かどうか、他の薬剤や天敵について検証が必要であろう。

天敵では薬剤抵抗性発達の事例が少なく、わが国では薬剤抵抗性天敵は茶園のケナガカブリダニに限られる。これは抵抗性遺伝子を持つ個体がたまたま茶園に生息しており、薬剤淘汰により選抜されたことも原因の一つであろう。さらに天敵での薬剤抵抗性発達が起きる生態的な条件として、散布後に天敵と同時に餌個体も存在することも重要視されている (CROFTら, 1975; 1988)。この観点から両種の間接的な関係を見ると、チャは常緑の永年性作物のためカンザワハダニは年間を通じて生息する。本種には有機リン剤 Phenkaptan 抵抗性が1961年に静岡県で報告されて以来 (刑部, 1967b, 1968)、種々の薬剤抵抗性が発達しているため、薬剤散布を受けても一部は死亡せずに残存する可能性が高い。

また浜村 (1986) は、茶園でケナガカブリダニに抵抗性が発達した原因の一つとして茶樹の構造をあげ、成葉が密集した状態では薬剤がかかりにくいこと、弱い淘汰が加わってカブリダニの抵抗性を発達させたことと推測している。実際に種々の噴口を用いて薬剤散布をした場合には、成葉裏側の薬剤付着量は表側のわずか20%ほどにとどまることや (稲木・向笠, 1976)、動力噴霧器による防除では、散布量の15%程度しか摘採面下の株元へ到達しないので (松山ら, 1987)、株内部には薬剤が付着しない葉が存在し、抵抗性発達の初期において薬剤散布後にわずかに残存したカブリダニがこのような部分でハダニを捕食して生存する確率が高いと推測される。このように茶園のケナガカブリダニには抵抗性個体群が生じる条件はそろっており、今後は薬剤散布を株内部まで入念に行なった場合と通常の場合とで、摘採面内部でのハダニとカブリダニの発生動態、抵抗性個体群の発生状況を比較し、カブリダニの薬剤抵抗性発達の事例を解析

することで、天敵における抵抗性発達機構の解明を進める必要がある。

IV 薬剤抵抗性系統の特性

選抜した合ピレ剤抵抗性系統を用いたハダニ類の生物的防除を行うためには、その系統維持や増殖、そして抵抗性個体群の定着を目的とした放飼が必要であり、いずれの段階においても薬剤抵抗性が高レベルで安定的に維持される必要がある。さらに発育期間や増殖力など、抵抗性系統の種々の生態的パフォーマンスが野外系統に比較して劣らないことも重要である。この点についてケナガカブリダニの有機リン・カーバメイト剤抵抗性系統では、それら薬剤抵抗性が単一の主働遺伝子によって支配され、そして増殖力、捕食能力、休眠性には感受性系統との差が無いことが明らかにされている (浜村, 1986)。

しかし、本研究で発見された合ピレ剤抵抗性系統のこれら諸特性は未解明なため、基礎的な知見を積み重ねる必要がある。そこで本章では、感受性変異の調査で得た合ピレ剤抵抗性系統 (Hiranuma-1) へさらに10回の合ピレ剤淘汰を加えた系統 (SEL10) を確立し、その薬剤抵抗性発達程度、増殖力をはじめとする生態的パフォーマンス、そして野外系統との生殖親和性を調査した。また抵抗性系統を利用する場合には、放飼のための増殖に室内での累代飼育が不可欠と考えられるので、いくつかの薬剤抵抗性系統について累代飼育期間中での合ピレ剤抵抗性の強さの変動を調査した。さらに室内での増殖後に野外へ放飼された抵抗性個体群の抵抗性が、野外の感受性個体群との交雑によりどのように変化するかを推測するため、両系統間の交雑により得たF₁系統の合ピレ剤 permethrin 感受性を調査した。

1 薬剤抵抗性の発達程度

a 材料と方法

1) 合成ピレスロイド剤 permethrin による淘汰

Permethrin による淘汰への反応をみるため、1989年5月と6月に静岡県沼津市平沼の茶園で採集した個体群を累代飼育した系統 (Hiranuma-1) を1990年2月から91年4月にかけて合計10回 permethrin で淘汰した。この系統は permethrin, methidathion, methomyl に抵抗性を有し (第三章)、淘汰前での permethrin 20% 水和剤の LC₅₀ 値はすでに 243.2 ppm であったので (Table 5)、前半6回の淘汰では濃度を permethrin 20% 水和剤 400 ppm (500倍) に設定した。また同一濃度

Table 5. LC₅₀ values of pesticides for the adult females of three *A. womersleyi* strains

Pesticide	Strains	Concentration-mortality Regression line ^a	LC ₅₀ value (ppm) with 95% C.L.	Inter-strain ratio ^b
Permethrin (20%, WP)	Hiranuma-1	$y=5+2.57(x-2.36)$	243.2 (205.0-288.5)	1.00
	SEL6 ^c	$y=5+1.96(x-2.30)$	199.1 (155.8-254.5)	0.82
	SEL10 ^d	$y=5+1.95(x-2.72)$	522.6 ^e (—)	2.15
Methidathion (40%, EC)	Hiranuma-1	$y=5+3.08(x-2.50)$	313.7 (268.7-366.1)	1.00
	SEL6 ^c	$y=5+3.85(x-2.50)$	312.1 (276.8-352.0)	0.99
Methomyl (45%, WP)	Hiranuma-1	$y=5+2.04(x-2.00)$	100.8 (78.9-128.8)	1.00
	SEL6 ^c	$y=5+2.42(x-2.11)$	129.8 (109.3-154.0)	1.29

a $x=\log(\text{concentration (ppm A.I.)})$, $y=\text{value of probit}$.

b Hiranuma-1=1.0.

c The SEL6 strain was obtained from Hiranuma-1 with 6 permethrin selections.

d The SEL10 strain was obtained from Hiranuma-1 with 10 permethrin selections.

e The data differed significantly (χ^2 test, $p<0.05$) from the calculated dosage mortality line.

では permethrin 乳剤の方が水和剤よりも高い死亡率が示されたため、7回目以降の淘汰条件を permethrin 20%乳剤 50ppm (4000倍)に変更してさらに4回の淘汰を加えた。

淘汰を加える供試個体を十分に確保するため、1回の淘汰を2~4グループに分けて行い、合計500~900頭を供試した。各グループでの薬剤感受性検定は前項の単一濃度での調査方法に準じた。また各回淘汰での生存率には、各グループでの生存率の平均値を用いた。各グループでの生存個体をまとめたうえで飼育を継続し、必要個体数を再び確保した後、次回の淘汰を行った。このような方法を用いたため、1回の淘汰には2~4週間を要した。

2) 合ピレ剤抵抗性の発達程度

合ピレ剤抵抗性の発達程度を知るため、6回目と10回目淘汰後の系統をそれぞれ SEL6、SEL10 系統とし、SEL6 系統では、5種類の合ピレ剤、permethrin, fluvalinate, fenpropathrin, cypermethrin, fenvalerate, 有機リン剤 metidathion, およびカーバメイト剤 methomyl に対する感受性を90年9月~12月に調査した。また SEL10 系統では、permethrin への感受性検定を91年5月に行い、fluvalinate, fenpropathrin, cypermethrin では同年の10~12月に調査した。

b 結果

Hiranuma-1 系統を permethrin で連続的に淘汰した際の生存率の経時の変化を Fig. 7 に示した。前述のように各淘汰を2~4グループに分けて行ったので、生存率は平均値で示している。permethrin 水和剤 (400ppm) での生存率は淘汰開始時の34.8%から次第

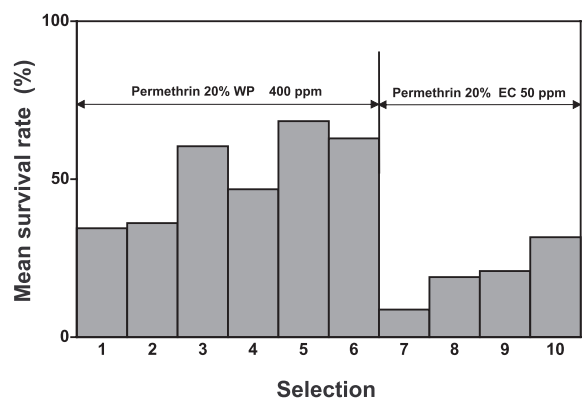


Fig. 7 Response of adult female *A. womersleyi* (Hiranuma-1 strain) to selection with permethrin. Permethrin (WP) of 400 ppm was used during the selections 1-6, and permethrin (EC) of 50 ppm during the continuing selections 7-10. The 500-900 adult females were divided into 2-4 groups and treated with permethrin in each selection.

に上昇し、6回目の淘汰時には61.6%になった。permethrin 乳剤 (50ppm) に切り替えた7回目の淘汰では、生存率はいったん8.2%に低下したが、その後の淘汰により生存率は再び上昇し10回淘汰時には31.6%になった。

次に Hiranuma-1 および、淘汰により得た2系統 (SEL6, SEL10) の薬剤感受性を Table 5 に示した。SEL6 系統の permethrin, methidathion, methomyl の感受性は淘汰前の Hiranuma-1 系統のそれと大差はなかったものの、SEL10 系統では permethrin 水和剤の

LC₅₀ 値が最初の約 2 倍 (522.6ppm) となり、Hiranuma-1 系統に比較して permethrin 感受性が低下していた。

さらに Table 6 には、これら 3 系統における数種の合ピレ剤感受性検定の結果を示した。SEL6 系統の薬剤感受性は Hiranuma-1 系統と大差なく、fenpropathrin 乳剤の常用濃度での死亡率もほぼ 100% に達していたが、さらにこの系統を permethrin 乳剤で 4 回淘汰して得た SEL10 系統では fenpropathrin 乳剤 100ppm に対する死亡率が 75.0% まで低下した。

2 生態的パフォーマンスの比較

a 材料と方法

1) 供試ケナガカブリダニ

1989~94 年に北海道から沖縄県の各地でケナガカブリダニを採集し (Table 7), これらをもとに確立した累

代飼育系統を実験に供試した。

2) 発育期間

発育期間の系統間差異を明らかにするため、25±0.5℃, 16L-8D 条件で、SEL10, HK, ISHI, FL94 の 4 系統を飼育した。まず直径 9cm のプラスチックシャーレ内に敷いた湿った脱脂綿上に 1.5cm×1.5cm のインゲンマメ葉片の表側を上にして 4~5 枚設置した。ここに、前述の条件下で 12 時間以内に産卵された卵を一個ずつと孵化後の餌としてナミハダニ雌成虫 5 頭を接種した。これらのシャーレ 6~8 枚ごとをカバー付きのプラスチックケース (縦 30cm×横 22cm×高さ 5cm) に収容し、インキュベーター内においた。この時、ケースのカバーに小穴を開け、内部の湿度を 75% R. H. 以上に調節した。

調査は 12 時間ごとに行い、実体顕微鏡下で発育状況を記録した。第 2 若虫静止期に達した雌については雄成虫 1 個体を葉片上に導入し交尾を行わせた後、産卵開始

Table 6. Mortality (%) from synthetic pyrethroid in the two strains, SEL6 and SEL10 selected from the Hiranuma-1 population

Synthetic pyrethroids (% AI and type of formulation)	Concentration (ppm)	% Mortality ^a (n)		
		Hiranuma-1	SEL6	SEL10
Cypermethrin (6%, WP)	60	41.4 (58)	52.3 (92)	49.2 (63)
	30	18.2 (110)	—	—
Fenpropathrin (10%, EC)	100	100.0 (105)	100.0 (104)	75.0±8.1 ^b (70,45,47)
	50	100.0 (86)	—	—
Fenvalerate (20%, EC)	200	74.4 (99)	83.8 (117)	—
	100	38.5 (96)	—	—
Fluvalinate (20%, WP)	200	47.6 (103)	36.6 (94)	—
	100	11.6 (86)	—	31.1 (63)
Permethrin (20%, WP)	200	31.0 (87)	55.6 (59)	52.1 (66)
	100	17.2 (93)	24.2 (55)	30.1 (43)
Permethrin (20%, EC)	200	100.0 (46)	100.0 (104)	59.8 (66)
	100	96.0 (50)	95.3 (69)	63.2±5.1 ^c (48,42)

^a Abbott's correction was applied to the calculation of mortality. Numerals in parentheses are the number of females tested.

^b Mean±S.D. (n=3).

^c Mean±S.D. (n=2).

Table 7. Collection record of seven *A. womersleyi* strains

Strain	Location (latitude: °N)	Collection date	Host plant
SEL10^a	Numazu, Shizuoka (35.1)	May 15 and June 26, 1989	Tea
HK	Sapporo, Hokkaido (43.0)	Aug. 1993	Mulberry
FL92	Kanaya, Shizuoka (34.8)	July 7, 1992	Tea
FL94	Kanaya, Shizuoka (34.8)	May 31, 1994	Tea
MK	Makurazaki, Kagoshima (31.3)	May 7, 1993	Tea
OKI	Nago, Okinawa (26.6)	Dec. 6, 1990	Tea
ISHI	Ishigaki, Okinawa (24.4)	Dec. 12, 1993	Kidney bean

^a The **SEL10** strain was obtained by selecting the Hiranuma-1 strain with permethrin under laboratory conditions.

まで観察して産卵前期間を求めた。

3) 産卵数

ケナガカブリダニの 25°Cでの 1日あたり産卵数は、産卵開始後 3日目を以降にピークに達した後、数日間その状態が継続する (SAITOら, 1981; 浜村, 1986)。そこで前項 2) と同一温湿度・日長条件下で、SEL10, HK, ISHI, OKI, FL94 の 5 系統について、成虫化後 5~6 日齢にそろえた雌成虫 10 個体による 3 日間の産卵数を求めた。この値を供試系統の産卵数として系統間での比較を行った。

シャーレ内の湿った脱脂綿上に置いた葉片上 (2cm×3cm) に成熟したナミハダニ雌成虫 30 頭を接種して 1 日間産卵させ、実験中の餌条件をハダニ雌成虫とその産下卵にそろえた。ケナガカブリダニについては、予め第 2 若虫静止期雌と雄成虫を、別途用意したハダニ寄生葉上に移して飼育し、成虫化後 5~6 日齢の既交尾雌成虫を必要数確保した。このような準備の後、前述の条件にそろえたハダニ寄生葉上に雌成虫 10 頭を接種して 3 日間産卵させた。調査時には、卵とすでに孵化した幼虫を計数し、その総数をこの間の産卵数とした。実験期間中、餌不足にならないよう適宜ハダニ雌成虫を補充した。反復は FL94 系統のみ 10 回とし、他系統は 5 回設定した。この実験は 1994 年 10~11 月に行った。

4) 休眠性

休眠性の系統間変異を明らかにするため、SEL10, HK, FL92, FL94, MK, ISHI, OKI の 7 系統について短日条件下 (9L-15D) での休眠率を求めた。シャーレ内の湿った脱脂綿上へ置いた 2cm×3cm の葉片へ、ナミハダニ雌成虫 20~30 個体と、20~25°C, 60~80% R. H., 16L-8D 条件下で 1 日以内に産卵されたケナガカブリダニ卵 20~30 個を設置した。これらの卵をシャーレごと前述のケースに収容し、15°C, 18°C, 20°C (いずれも ±0.5°C), 9L-15D 条件下で成虫になるまで集団飼育した。こうして得た雌成虫を交尾用の雄成虫とともに

1 頭ずつ、ハダニ雌成虫を 5 頭接種した 1.5cm×1.5cm の葉片上で個体別飼育を行い、2~3 日間隔で産卵の有無を調査した。カブリダニ類の休眠は、交尾を済ませた雌成虫の産卵停止あるいは産卵前期間の大幅な延長で表現される (VEERMAN, 1992)。実験的には、低温短日下で発育した既交尾雌成虫が一定期間産卵しなければ、その個体は休眠誘起されたと判断され、この期間は 7~14 日間とされている (HOY, 1975; OVERMEER ら, 1983; MOREWOOD ら, 1991)。ISHI 系統での予備調査により産卵前期間は 15°C, 18°C, 20°C でそれぞれ約 10 日, 5 日, 3 日であったので、本実験では個体別飼育開始後、15°C で 14 日間, 18°C で 10 日間, 20°C で 7 日間以上未産卵の個体は休眠誘起されたとものと判断した。

5) 系統間の生殖的親和性

SEL10, FL94, HK, ISHI, OKI の 5 系統を用い、合ピレ剤抵抗性系統と他の在来系統との間に生殖的親和性が低下していないか、交雑実験を行って検討した。まず雌成虫になる直前の第 2 若虫静止期 20 頭と組み合わせ対象系統の雄成虫 10 頭を、前項 4) に準じて作成したハダニ寄生葉上に導入した。20~25°C, 60~80% R. H., 16L-8D 条件下で 2~3 日間ランダムに交尾を行かせた後、引き続き 2~3 日間産卵させ、産下卵を毎日まとめて別途用意したハダニ寄生葉上に接種した。これらの卵を前述の 25±0.5°C, 16L-8D 条件下におき、孵化率を接種 3~4 日後、幼若虫の生存率および成虫の性比 (雌比) を接種 6~7 日後に調査した。

b 結果

1) 発育期間

各系統の発育期間を Table 8 にまとめた。25°C における SEL10 系統の雌の発育期間は 5.22 日であり、ISHI 系統および FL94 系統との間に有意差が認められたが (*t*-test, *p*<0.05), その差はそれぞれ 0.28 日, 0.22 日とわずかであった。また SEL10 系統の産卵前期間は FL94 系統よりも有意に長かった (*t*-test, *p*<0.05)。

Table 8. Comparison of development and pre-oviposition period (mean±S.E.) in days among four strains of *A. womersleyi* at 25°C under 16L8D

Strain	Developmental times (days)		Pre-oviposition period (days)
	Male	Female	
SEL10	5.00 (1) ^a	5.22 ± 0.08 (27)	2.02 ± 0.09 (21)
FL94	4.67±0.10 (6)	5.00±0.07* (30)	1.75 ± 0.08* (26)
HK	5.18±0.07 (17)	5.28±0.09 (20)	1.94±0.11 (18)
ISHI	5.00±0.00 (4)	5.50±0.07* (24)	2.05±0.09 (19)

^a Numbers in parentheses are the number of mites tested.

* Significantly different from SEL10 strain (*t*-test, *p*<0.05)

なお雄の発育期間は、SEL10 系統の 1 個体について得られた 5.0 日であり、他の 3 系統の発育期間 4.67～5.18 日と大差はなかった。

2) 産卵能力

雌成虫 10 個体あたりの 3 日間の産卵数は、OKI 系統で最も多く、FL94 系統が最少であった (Table 9)。SEL10 系統の産卵数は 94.0 であり、ISHI, OKI 系統と有意差はなかったが (*t*-test, $p > 0.05$)、FL94, HK 系統よりも有意に (*t*-test, $p < 0.01$) 多かった。

3) 休眠性

休眠率を温度別に示した (Table 10)。北海道産の HK 系統の休眠率は全温度区ではほぼ 100%であった。静岡県産の SEL10 系統の休眠率は 20°C で 64.4%、18°C で 80.5%、15°C ではほぼ 100%に達した。また同じ静岡県産の FL92 系統でも 15°C では 100%、FL94 系統も 18°C では 88.7%を示し、18°C 以下の誘起温度で高い休眠率を示した。一方、鹿児島県産の MK 系統の休眠率は 18°C で 50%にとどまり、さらに沖縄県産の OKI, ISHI 系統では、全温度区で本州、北海道系統よりさらに低い傾

向を示した。特に 18°C 以上での休眠率はわずか 10%以下であった。以上から休眠率には採集地の緯度に応じた変異が認められた。

4) 系統間の生殖的親和性

系統間交雑後に産下された卵の孵化率、発育期間中の生存率はそれぞれ 93.4～100%、86.5～93.8%を示した (Table 11)。また、得られた成虫の性比 (雌比) は 0.55～0.96 であった。系統間交雑での孵化率、生存率、性比には、系統内での各値との間に有意差は認められず (Mann-Whitney *U*-test, $p > 0.10$)、系統間での生殖的隔離はないと判断された。

3 抵抗性の安定性

a 材料と方法

1) 合ピレ剤抵抗性の経時的変動

合ピレ剤抵抗性が長期間にわたり安定的に維持されるかどうかを明らかにするため、合ピレ剤抵抗性系統について、累代飼育期間中の抵抗性の強さの経時の変化を調査した。まず、淘汰を続けて確立した SEL10 系統では、淘汰終了後も累代飼育を継続し、淘汰終了後 11 ヶ月 (91 年 3 月)、20 ヶ月 (92 年 12 月)、36 ヶ月 (94 年 4 月)、44 ヶ月 (94 年 12 月) を経過したそれぞれの時点で、permethrin 水和剤に対する感受性検定を行った。次に、採集後 15～70 日間に最初の感受性検定を行って合ピレ剤抵抗性を確認できた 3 系統 (Kanaya94, Hiranuma-2, Kikugawa) について、さらに累代飼育を継続して合ピレ剤 permethrin, fluvalinate, fenprothiuron, cypermethrin に対する感受性の変化を調査した。なお Kikugawa 系統は静岡県茶業試験場 (静岡県小笠郡菊川町) で採集した。

2) 感受性系統との交雑による合ピレ剤抵抗性の変化 感受性個体との交雑が合ピレ剤抵抗性の強さにどのよ

Table 9. Comparison of fecundity of five strains of *A. womersleyi* at 25 °C :16L8D. Females at 5-6 days after adult emergence were used.

Strain	Number of eggs laid by ten females for three days (mean±S.E.)
SEL10	94.0±2.6 (5) ^a
FL94	63.9±2.0** (10)
HK	79.6±2.3** (5)
OKI	97.4±2.9 (5)
ISHI	83.6±3.7 (5)

^a Numbers in parentheses are the number of replicates.

** The data differed significantly from the SEL10 strain (*t*-test, $p < 0.01$).

Table 10. Diapause incidence (%) of seven strains of *A. womersleyi* under 9L15D at 15, 18 and 20°C

Strains	Diapause incidence (%)		
	Temperature		
	15°C	18°C	20°C
SEL10	98.5 ±1.5 ^a (35,34) ^b	80.5 ±9.2 (45,45,42)	64.4 ±11.8 (78,42)
HK	100.0 (38)	100.0 (30)	95.0 (40)
FL92	100.0 (33)	—	—
FL94	—	88.7 (53)	—
MK	—	53.1±13.7 (38,39)	—
OKI	59.4±6.0 (42,55,38)	10.9 (55)	5.0 (22)
ISHI	59.2±0.8 (20,24)	0.0 (48)	7.9 (38)

^a Mean±S.E.

^b Numbers in parentheses are the number of mites tested in each replicate.

Table 11. Egg hatchability, survival rate in the immature stage and sex ratio of progeny from intra- and inter strain crosses

Cross (♀×♂)	Hatchability (%)	Survival rate (%) in immature stage	Sex ratio (♀/(♀+♂))
Intra-strain crossing			
SEL10	94.7 (150) ^a	89.4 (142)	0.80 (127)
FL94	98.8 (161)	91.8 (159)	0.83 (146)
HK	96.2 (106)	94.1 (102)	0.69 (96)
OKI	98.0 (153)	92.0 (150)	0.68 (138)
ISHI	94.1 (102)	90.6 (96)	0.82 (87)
Inter-strain crossing ^b			
SEL10 × HK	96.0 (125)	90.8 (120)	0.92 (109)
HK × SEL10	97.7 (131)	93.8 (128)	0.55 (120)
SEL10 × ISHI	93.4 (106)	92.9 (100)	0.91 (92)
ISHI × SEL10	97.1 (103)	92.0 (100)	0.91 (92)
SEL10 × OKI	95.1 (226)	86.5 (215)	0.96 (186)
OKI × SEL10	100.0 (181)	87.9 (181)	0.72 (159)
FL94 × ISHI	98.3 (115)	90.3 (113)	0.79 (102)
ISHI × FL94	99.2 (125)	88.7 (124)	0.84 (110)

^a Numbers in parentheses are the number of individuals tested.

^b No significant difference in hatchability, survival rate in the immature stage and sex ratio was observed between inter- and intra strain crossings (Mann-Whitney *U*-test, $p > 0.10$).

うな影響を与えるかを知るため、抵抗性と感受性両系統間で交雑を行い、得られたF₁系統について合ピレ剤感受性を検定した。抵抗性系統として室内で合ピレ剤による淘汰を加えた SEL10 系統、感受性系統として沖縄県名護市産の Nago 系統を用い、両系統間で正逆交雑を行って得られたF₁世代の薬剤感受性を調査した。

まずF₁系統を得るため、直径9cmのシャーレ内の湿った脱脂綿上に直径3~4cmに調整したナミハダニの寄生したインゲンマメ葉片を置き、ここに成虫に到達直前の雌の第2若虫15~20頭と交尾相手の系統の雄成虫5~10頭を接種した。接種した第2若虫が雌成虫に発育・交尾後はハダニを補充しながら飼育し、葉片上に産卵させた。この葉片を1~2日おきに観察し、産下された卵を細筆を用いて新たに用意したハダニ寄生葉へ接種し、20~25°C、60~80%R. H., 16L-8Dの飼育室内で成虫まで飼育した。このようにして必要なF₁雌成虫を十分数確保し、それらの permethrin 20%水和剤に対する感受性を検定した。

b 結果

1) 合ピレ剤抵抗性の経時的変動

SEL10 系統の permethrin 水和剤の LC₅₀ 値は、累代飼育中も淘汰終了時の値から著しくは低下せず上下に変動し、20ヶ月後には最高値の645.8ppmに達した。しかし、その後は感受性が次第に回復し、44ヶ月後に

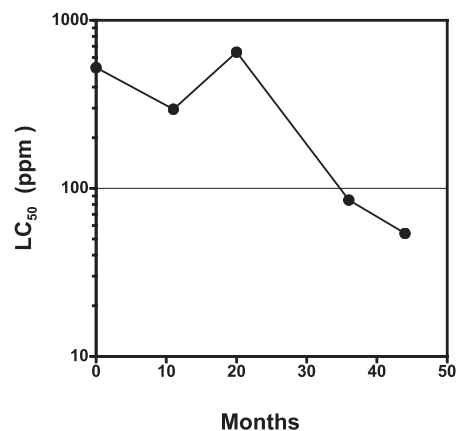


Fig. 8 Changes in LC₅₀ value of permethrin (WP) for the SEL10 strain when left without selections for 44 months.

は53.9ppmと当初の約1/10に低下した。(Fig. 8).

Fig. 9には、合ピレ剤抵抗性を示す3系統の採集後の合ピレ剤感受性の変化を示す。Hiranuma-2系統では、採集して26~53日後の合ピレ剤4種の死亡率で20.9~60%が180日後には47.6~94.3%へ上昇し、cypermethrin, fluvalinate, permethrinでは変化に有意差が認められた(*G*検定, $p < 0.001$)。またKanaya94系統でも約200日間の累代飼育でfenpropathrinとpermethrinの死亡率が有意に上昇した(*G*検定, $p < 0.001$)。さらに、Kikugawa系統ではpermethrin水和

剤 400ppm での死亡率は低く経過したが, enpropathrin 乳剤 100ppm では採集後 70 日~150 日の間に 47.8%から 100%に有意に高まった (G 検定, $p < 0.001$). このように, 採集後に淘汰を加えずに累代飼育を続けた系統には合ピレ剤感受性の回復がみられた.

2) 感受性系統との交雑による合ピレ剤抵抗性の変化

SEL10 系統 (R) と Nago 系統 (S) の正逆交雑で得られた F_1 の LC_{50} 値, 69.0ppm ($R \text{♀} \times S \text{♂}$) と 53.4ppm

($S \text{♀} \times R \text{♂}$) は, SEL10 系統で示された最大の LC_{50} 値 645.8ppm の約 1/10 にとどまった (Table 12). この結果をもとに両組み合わせについて, STONE (1968) により求めた合ピレ剤抵抗性の優性度は, それぞれ 0.03, -0.02 となり, 遺伝様式は優性と劣性の中間型を示した. このように抵抗性と感受性系統との交雑により得られた F_1 の抵抗性の強さは, 抵抗性系統より低下した.

4 考 察

a 抵抗性の発達程度

Permethrin による連続淘汰を加えると生存率は経時的に上昇したが, permethrin 水和剤での LC_{50} 値は約 2 倍程度上昇したに留まった. このことは, Hiranuma-1 系統の permethrin 抵抗性がすでにかなり高レベルにあり, 新たな淘汰をさらに加えても抵抗性増強が困難なことを示している. しかし, 淘汰の結果得られた SEL10 系統では, permethrin 水和剤の LC_{50} 値 (522.6ppm) は合ピレ剤感受性系統の LC_{50} 値 3.9ppm (浜村, 1986) および 8.8ppm (第三章 Minamihara 個体群) の 134 倍および 59 倍に相当し, 実用濃度 100~200ppm を大きく上回った. この permethrin 抵抗性は, 茶園で permethrin 水和剤を直接散布されてもほとんど影響されない程の高いレベルであると考えられる.

北米では合ピレ剤散布後のリンゴ園でのハダニ類の多発を抑えるため, フェラシスカブリダニとオキシデンタリスカブリダニで合ピレ剤抵抗性系統の育成が試みられ, permethrin での淘汰により, その LC_{50} 値がそれぞれ約 10 倍, 約 60 倍に増強された (STRICKLER ら, 1982; HOY ら, 1981). これらの成功例では淘汰開始にあたり, 合ピレ剤感受性の異なる複数個体群を混合したり, また初期個体群として 200-300 頭の雌成虫を野外から確保することによって遺伝的変異性を高めた系統を確立してから淘汰を行っている.

一方, 本研究での Hiranuma-1 系統は全ステージを含

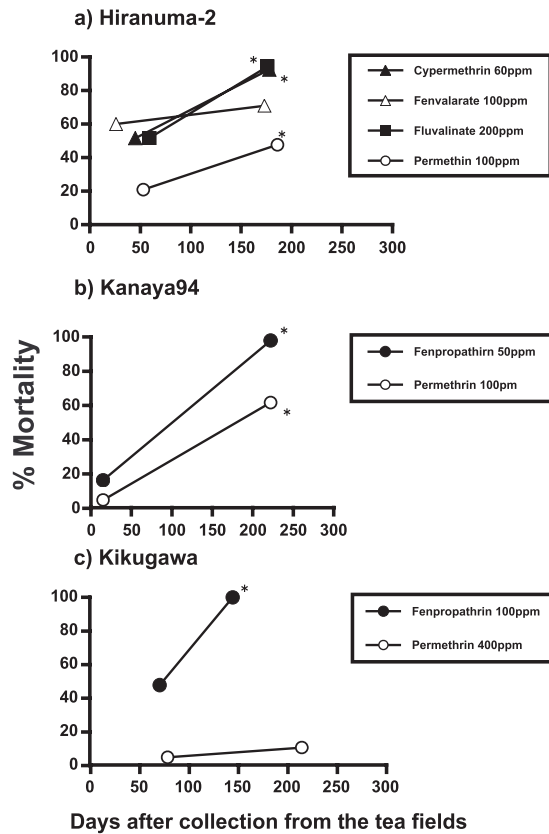


Fig. 9 Recovery of susceptibility to several synthetic pyrethroids in three *A. womersleyi* strains.

Asterisks indicate significant difference (G -test, $p < 0.001$) in mortality between susceptibility test times.

Table 12. Synthetic pyrethroid susceptibility of the F_1 hybrid from the cross between the resistant strain (R) and the susceptible strain (S)

Strain	Concentration-mortality regression line ^a	LC_{50} values (ppm) with 95% C.L.	Resistance ratio
R (SEL10) ^b	$y=5+1.655(x-2.810)$	645.8 (382.7-1089.7)	105.9
S (Nago)	$y=5+1.404(x-0.781)$	6.1 (4.7-7.8)	1.0
F_1 ($R \text{♀} \times S \text{♂}$)	$y=5+2.504(x-1.839)$	69.0 (54.6-86.8)	11.3
F_1 ($S \text{♀} \times R \text{♂}$)	$y=5+2.174(x-1.727)$	53.4 (42.5-66.9)	8.8

^a $x = \log(\text{concentration (ppm)})$, $y = \text{value of probit}$.

^b The SEL10 strain was obtained by selecting the Hiranuma-1 strain with permethrin under laboratory conditions.

めても75頭という少数から確立されていて遺伝的変異が小さいとみられるうえ、その permethrin 抵抗性も当初からかなり高いレベルにあった。ファラシスカブリダニでも、38個体という少数から確立され、かつ permethrin 感受性が低い系統 (Geneva 系統) を淘汰した場合には、permethrin の LC_{50} 値の上昇はわずか1.3倍にとどまり (STRICKLERら, 1982)、本研究と類似した結果が得られている。これらのことから、本研究では淘汰対象の個体群には遺伝的変異が少なく、すでにかんりの抵抗性レベルにあった個体群を淘汰したことが、抵抗性レベルを顕著に強化できなかった原因と考えられる。

ところで、前章では permethrin 抵抗性の発達程度が fenvalerate など permethrin 以外の合ピレ剤の散布回数を反映していたので、合ピレ剤間の交差抵抗性が推測されていた。この点について Hiranuma-1 系統の fenprothrin に対する死亡率は当初100%であったが、これを permethrin で10回淘汰して得た SEL10 系統では fenprothrin 感受性も低下したので、抵抗性は合ピレ剤間で交差すると考えられる。なお6回淘汰した SEL6 系統での methidathion, methomyl 感受性は Hiranuma-1 系統と大差がなく、permethrin 抵抗性とこれら薬剤間の交差抵抗性関係は判然としなかった。

b 抵抗性系統の生態的パフォーマンス

SEL10 系統をはじめとする4系統の25°Cでの卵から雌成虫までの発育期間の平均値は5.0~5.5日であった。これらの値は、すでに報告されている25°Cでの発育期間4.4日 (齋藤ら, 1975)、5.11日 (浜村, 1986)、そして積算温度法則から求めた25°Cでの発育期間5.85日 (中川, 1984) と大差はなかった。また、KISHIMOTOら (1997) も本種の青森、京都、那覇産の3系統について調査し、25°Cでの発育期間には有意差は認められないと報告している。以上から発育期間の系統間差異はごくわずかである。

今回の実験では、各系統の産卵能力として日齢のそろった雌成虫10頭の3日間あたり産卵数を用いたことにより、調査の反復を5~10と多く設定でき、また短期間に5系統を調査できた。その結果、SEL10 系統の産卵数は供試5系統のなかで2番目に多く、その産卵能力が他系統に比べて劣ることはなかった。そして上記の方法で求めた産卵数には明らかに系統間差異があるので、さらに多数の系統を調査することで高産卵系統の選抜可能性が示唆される。このような変異の原因を解明するため、生存期間全般にわたり個体別の産卵数を調査し、各系統の産卵パターンと生存曲線を比較することが今後必要と

思われる。

18°Cでの各系統の休眠率は採集地が高緯度になるほど上昇し、地理的傾斜が認められた。また、中緯度地域から採集した SEL10, FL92, FL94 系統と低緯度地域からの OKI, ISHI 系統との間の休眠率の違いは、KISHIMOTOら (1994) による休眠性調査の結果とも一致した。休眠性の系統間変異は地理的要因に強く依存すると考えられる。

さらに本種では、北米産のオキシデンタリスカブリダニで報告されたような、生息地や薬剤抵抗性が異なる系統間での生殖的隔離 (CROFT, 1970; HOYら, 1981) は全く見られなかった。

以上のように、選抜した合ピレ剤抵抗性系統には発育期間や産卵能力の面での遅延や低下、休眠性の異常、生殖的隔離の発生といった現象は生じていないと判断される。

c 抵抗性の安定性

SEL10 系統に淘汰を加えずに累代飼育しても、その permethrin 抵抗性の強さは20ヶ月間にわたって安定して維持された。他のカブリダニ類では、オキシデンタリスカブリダニで有機リン剤 azinphosmethyl 抵抗性が2年間、permethrin 抵抗性が7.5ヶ月間安定して維持された報告がある (HOYら, 1981)。またファラシスカブリダニでも約1年間 permethrin 抵抗性が安定して維持されている (CROFTら, 1983)。一方、チリカブリダニの DAS 系統では有機リン剤 fenitrothion 抵抗性が不安定であり、薬剤処理を4~6か月停止すると感受性が回復するため、短い間隔で定期的に薬剤淘汰を行なって抵抗性を安定的に維持する必要性が指摘されている (中尾, 1987)。これらの結果と比較すれば、本種の SEL10 系統における合ピレ剤抵抗性は、長期間にわたり安定的であるといえる。

しかし野外の合ピレ剤散布茶園で採集した個体群から確立した系統には無淘汰で累代飼育すると数カ月で合ピレ剤感受性の回復が認められた。さらに SEL10 系統でも無淘汰の累代飼育が40ヶ月間以上続くと合ピレ剤感受性が次第に回復した。このような薬剤感受性の回復現象には抵抗性遺伝子の優性度と数、抵抗性個体の適応度が深く関与すると考えられている (GEORGHIOUら, 1977; 山本, 1998)。たとえばミカンハダニ *Panonychus citri* MCGREGOR の dicofol 抵抗性は、不完全劣性の単一遺伝子によって支配され、しかも抵抗性個体の適応度が感受性個体に比べわずかに劣るため、両者の混合集団を累代飼育すると、感受性個体の初期比率が低くても感受性回復

が起きることが知られている（井上，1986）．ケナガカブリダニの合ピレ剤抵抗性の遺伝様式は優性と劣性の中間であることが今回初めて示されたが，このような感受性回復の機構を解明するためには，今後さらに抵抗性に関与する遺伝子数の特定が望まれる．また起源が異なる系統間での産卵能力の比較では，抵抗性遺伝子と無関係な単なる系統間の差異も含まれるため，適応度の正確な比較には不適當である．抵抗性個体の適応度を明らかにするためには，合ピレ剤抵抗性個体群から，無淘汰あるいは逆淘汰による感受性回復系統と，淘汰により抵抗性が維持された系統を作出して，それら両系統間で個体あたり産卵数を比較する必要がある．

一連の結果から，合ピレ剤による淘汰を加えないで長期間飼育を行うと，感受性回復がその速さは異なるもののいずれの供試系統でも見られた．したがって長期間にわたり合ピレ剤抵抗性系統として系統維持するためには飼育中の淘汰が必要であり，そのための効率的な淘汰方法についてさらに詳細な調査が求められる．また抵抗性と感受性系統とのF₁では抵抗性の強さが低下した．合ピレ剤抵抗性個体群の定着を目的に放飼した抵抗性個体と，土着の感受性個体との混在が起きれば，そこでの個体群では抵抗性の強さが十分維持されない可能性がある．そのため放飼時には合ピレ剤の併用により感受性個体との混在を防止する必要がある．さらに野外での合ピレ剤抵抗性を長期間維持するためには，チャの害虫防除体系に，最小限の合ピレ剤使用を組み込むことが必要と考えられる．

V 薬剤抵抗性系統の活動検証と薬剤の影響

前章で選抜した薬剤抵抗性系統の特性を調査した結果，合ピレ剤抵抗性の強さは茶園での使用濃度に匹敵する高度なレベルにあり，抵抗性は長期間の飼育や感受性個体との交雑によっても消失しないことが明らかになった．また増殖力などの生態的パフォーマンスも野外の感受性系統に劣っていなかった．このような抵抗性系統を利用したチャ害虫総合管理を進めるためには，まず合ピレ剤散布下で抵抗性系統がハダニを制御できることを示す必要がある．

またチャの病虫害防除用には合計100種類以上の殺虫剤・殺ダニ剤・殺菌剤が登録・利用されている（日本植物防疫協会，1997）．このような多くの薬剤の使用が想定される条件下で抵抗性系統をうまく機能させるために

は，できるだけケナガカブリダニに悪影響の少ない薬剤の併用が求められる．本種のこれら薬剤に対する感受性調査は，静岡県や佐賀県の茶園で得られた個体群でこれまで行われているが（浜村，1986；中川，1989；1990），本研究で得た合ピレ剤抵抗性系統については，合ピレ剤以外の薬剤は未調査のものが多く，同様の調査により併用できる薬剤を明らかにすることが必要である．

本章ではまず，鉢植えと小規模な網室内のチャに寄生するカンザワハダニに対してケナガカブリダニを放飼し，合ピレ剤散布下での両種の動態を調査した．さらにその抵抗性系統の雌成虫及び発育に対する，主要な殺虫剤・殺菌剤・殺ダニ剤の影響を室内条件下で調査した．

1 カンザワハダニに対する制御効果

合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニによるカンザワハダニの制御効果を確認するため，ハダニが寄生するチャにそれを放飼し，両種の消長を調査した．

a 材料と方法

1) 鉢植え茶樹への放飼

実験は1991年5月21日から7月17日までの約2ヶ月間，試験場内の屋根付き網室（26m²）内で行なった．カンザワハダニは，場内茶園から採集後インゲンマメ葉上で累代飼育中の系統を供試し，ケナガカブリダニについては合ピレ剤抵抗性系統としてSEL10系統を，対照の感受性系統として名護市産Nago系統を用いた．

樹高と株張をそれぞれ約50cmに調整し，直径30cmの鉢に植えたチャ（品種‘やぶきた’）成木を用意し，抵抗性系統放飼区（以下：R1～3区），感受性系統放飼区（以下：S1～3区）として各3鉢ずつを網室内に設置した．鉢間でのカブリダニの移動を防ぐために株元に粘着剤（商品名：タングルフット）を塗布し，鉢も水を張った水盤上に置いた．

これら両区の各鉢から5枝を方向に偏りがないように選び，さらに各枝から1葉をランダムに選び，その裏側にカンザワハダニ雌成虫10頭ずつ合計50頭を接種した（5月21日）．ハダニ接種後14日目（6月4日）と21日目（6月11日）には，ケナガカブリダニ雌成虫を各ハダニ接種葉に2頭ずつ10頭，総合計20頭を放飼した．6月5日，12日，19日，7月16日には，散布機（ナショナルパナスプレーBH-565）を用いてpermethrin 20%水和剤2000倍をチャの上部と側面から均一に鉢あたり50cm³散布した（展着剤無加用）．この散布量は茶園での標準的な薬剤散布量である200ℓ/10aをもとに，1鉢のチャ樹の占有面積を0.25m²（50×50cm）と推定し

て決めた。

調査は各鉢について1週間間隔で行ない、両種を放飼した5枝につく全葉をハンドルーペ(×16)で観察し、両種の雌成虫数を計数した。期間中の網室内の気温は15℃(5月28日)～39℃(6月29日)であった。

2) 小規模茶園への放飼

実験は1991年6月5日～7月17日にかけて試験場内茶園で行った。合ピレ剤抵抗性系統放飼区と無放飼区とした2棟の野外網室を5mの間隔をおいて配置した。各網室には面積5m²の茶園を2つ収容し、畝方向に沿った両側面(裾部分)に幅50cmの調査区画を4区画ずつ、合計8区画設定した(Fig. 10)。また調査開始前(5月23日)には4月以降に伸長した新梢を刈り落として摘採面を整えた。

抵抗性ケナガカブリダニの放飼は6月6日、18日の2回行った。具体的には放飼区の各調査区画から選んだ5枚のカンザワハダニ寄生葉それぞれへ、あらかじめ実験室内で増殖したSEL10系統の雌成虫5頭ずつを細筆で接種した。1回あたりの放飼個体数は200頭、総放飼個体数は400頭とした。6月7日、19日、28日に肩掛式噴霧器を用いてpermethrin20%水和剤2000倍(展着剤未加用)を200ℓ/10a相当量散布した。

調査は1週間間隔で行ない、調査区画からランダムに

選んだ50葉すなわち網室あたり合計400葉をハンドルーペ(×16)で直接観察し、カンザワハダニについては雌成虫を、ケナガカブリダニについては雌成虫と若虫を計数した。さらに放飼区で観察されたケナガカブリダニの合ピレ剤抵抗性を確認するため、7月上旬に両区からそれぞれ採集したカブリダニを継続して飼育し、両系統の雌成虫についてpermethrin20%水和剤2000倍での死亡率を調査した。

次にケナガカブリダニ放飼によるカンザワハダニの被害抑制効果を明らかにするため、各区の摘採面上に幅50cmの区画を合計4つ設定し(Fig. 10)、両区間で被害状況を比較した。ハダニによる吸汁加害は褐色の斑点として葉上に残るので、調査終了時の7月17日に各区画より50本ずつ合計200本の新芽をランダムに採取し、各新芽の全葉を観察して吸汁痕が見られる葉を計数した。

b 結果

1) 鉢植え茶樹での活動の確認

両処理区でのカンザワハダニとケナガカブリダニの個体数変動を反復ごとにFig. 11に示す。抵抗性系統を放飼したR-1区では、カンザワハダニ個体数は一時的に300頭以上に増加したものの、ケナガカブリダニもその増加に迅速に対応し、最大で28頭に達した。R-2、3区では両種の個体数はR-1区に比較すれば低く推移し、

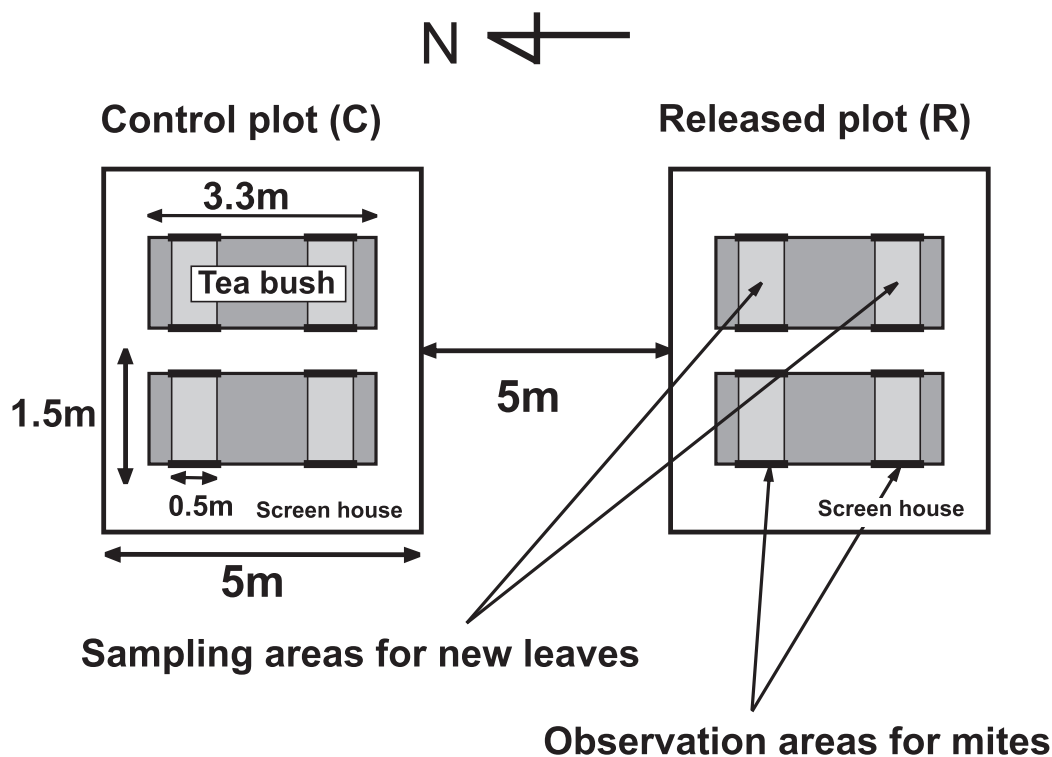


Fig. 10 Design of experimental tea fields, two set up in each screen house (5×5m)

ハダニの絶滅とカブリダニの継続的な生息を確認できた。一方、感受性系統を放飼した場合は、S-1区での調査末期を除いてカブリダニは全く観察されず、各区ではハダニの増加が調査末期まで継続した。特にS-2区では調査期間後半にハダニ個体数が急激に増加して200個体以上に達した。

2) 小規模茶園での活動の確認

抵抗性系統を放飼した茶園では合ピレ剤散布下でもケナガカブリダニの密度が増加した (Fig. 12)。放飼区ではカブリダニが6月12日以降出現してから、カンザワハダニの増加を追って密度が上昇し、7月3日には0.13頭/葉のピークに達し、その後急激に密度が低下し、7月9日以降は観察されなかった。一方、無放飼区では放飼区より2週間遅い6月26日になってケナガカブリダニが出現し、しかもピーク密度は7月9日で0.048頭/葉と放飼区での約1/3にとどまった。カンザワハダニの密度は処理区間ではっきりと異なった。無放飼区での密度は、7月3日には3.8頭/葉に達し、放飼区でのピーク密度の1.5倍に達した (Fig. 12)。一葉あたり雌成虫

と若虫数の合計数によるカブリダニ密度を処理区間で比較すると、6月12日から7月3日にかけては放飼区の方が高く、両区間で有意差が認められた (WILCOXONの順位和検定, $p < 0.05$)。この間、カンザワハダニでは6月19日と7月3日以降は両区間で密度に有意差が認められた (WILCOXONの順位和検定, $p < 0.05$)。さらに無放飼区の新葉では被害葉率が72.1%で、放飼区における26.4%の2.7倍に達し、放飼を行わない場合にはカンザワハダニが多発したことが明らかであった。

放飼区で採集したケナガカブリダニ個体群から確立した飼育系統の permethrin 水和剤 100ppm に対する死亡率は10月、11月時点でそれぞれ13.3%、62.5%にとどまったが、無放飼区由来の系統は翌年の1月時点での調査ながら81.7%と高い死亡率が認められた (Table 13)。

また被食者と捕食者の初期密度の比率は、天敵の制御能力を評価する際に重要な指標である。LAI (成木茶園での葉面積指数)、AL (成葉一枚の平均面積, cm^2)、NL (1m^2 あたり成葉数)の間には $\text{LAI} = \text{NL} \times (\text{AL} /$

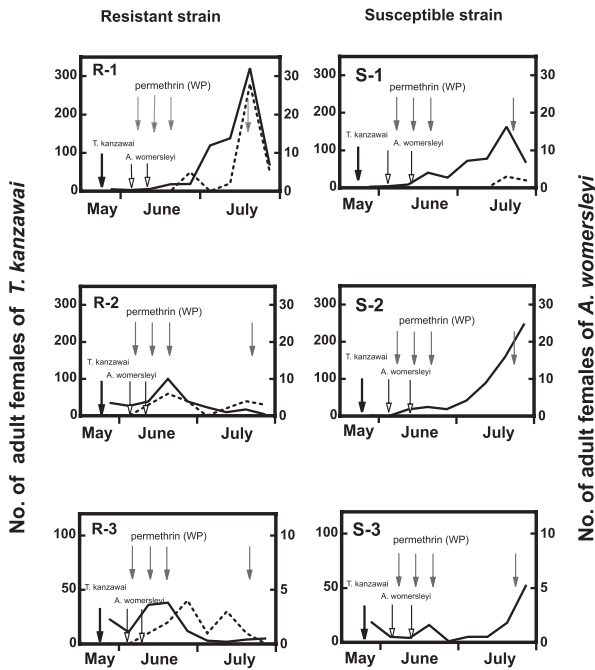


Fig. 11 Comparison of population changes in the Kanzawa spider mite *T. kanzawai* (—) and the two strains (resistant and susceptible) of the predatory mite *A. womersleyi* (-----) under synthetic pyrethroid application to tea planted in a pot (30 cm in diameter).

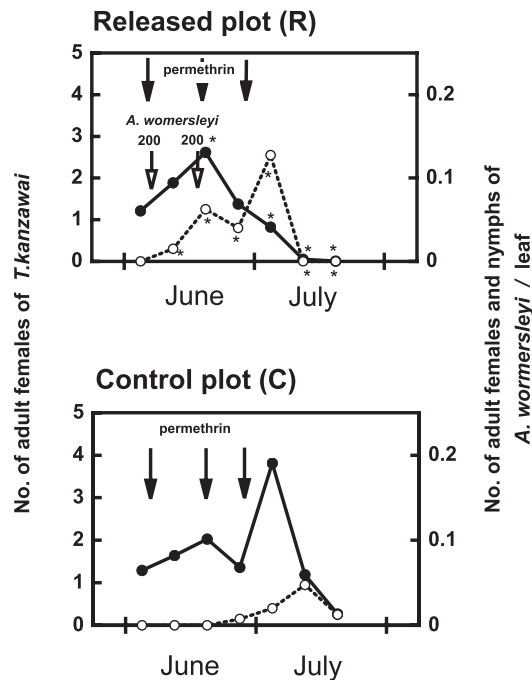


Fig. 12 Effect of the release of the predatory mite *A. womersleyi* (-----) resistant to synthetic pyrethroid on the suppression of the Kanzawa spider mite *T. kanzawai* (—) in a netted house (5×5m). Two hundreds of adult females were inoculated in each release. Asterisks on the graph in the released plot indicate a significant difference in the density of each species between the two plots ($p < 0.05$, Wilcoxon two sample test).

10,000) の関係が成り立つ。チャの LAI と AL は、5~6 と 11.8cm² (OKANOら, 1995) 3.64 と 15.54cm² (BANERJEE, 1987) とそれぞれ報告されているので、上式から 1m²あたり成葉数はおおよそ 2500~5000 枚と推定される。網室内の茶園面積は 10m²なので、総葉数 25,000~50,000 と総放飼個体数 400 から求めた放飼密度は 0.008~0.016 頭/葉と推定され、実験開始時の放飼区でのハダニ密度 1.2 頭/葉との比は 1:150~1:75 となった。

2 各種薬剤の影響

種々の薬剤が使用されるチャの病虫害防除体系下で薬

剤抵抗性ケナガカブリダニを効果的に機能させるためには、悪影響が少ない薬剤の併用が重要である。そこで抵抗性系統に対する各種薬剤の影響を調査した。

a 材料と方法

1) 雌成虫に対する薬剤の影響

殺虫剤 20 剤、殺ダニ剤 4 剤、殺菌剤 6 剤の合計 30 薬剤 (いずれも市販品, Table 14) について、第 2 章での感受性検定方法で雌成虫 (SEL10 系統) の死亡率を調査した。1 反復 20~30 頭を供試し、2~4 反復分の結果をまとめて死亡率を算出した。なお殺菌剤については対照区 (蒸留水) と薬剤区ともに展着剤 (ポリオキシエチレンフェニルエーテル 20%) を 10000 倍の濃度で加用

Table 13. Susceptibility to permethrin (20%, WP) of *A. womersleyi* collected from release and non release tea field in July 1991

Origin of <i>A. womersleyi</i>	No. of mites sampled	Dates of susceptibility test	% Mortality ^a at 100ppm
Released field	21	October, 1991	13.3 (23) ^b
		December, 1991	62.5 (30)
Non-released field	23	January, 1992	81.7 (64)

a Abbott's correction was applied to the mortality calculation.

b Numbers in parentheses are the number of individuals tested.

Table 14. Mortality (%) of adult female *A. womersleyi* (SEL10 strain) to pesticides

Pesticides	Formulation	Dilution	Mortality (%) ^a
Synthetic pyrethroid			
1. Bifenthrin	2% WP ^c	1000	78.9 (48)
		2000	31.6 (51)
2. Cypermethrin	6% WP	1000	49.2 (63)
3. Fenpropathrin	10% EC ^d	1000	75.0±4.7 (70,45,47) ^b
4. Fluvalinate	20% WP	2000	31.1 (63)
5. Permethrin	20% WP	1000	52.1 (66)
		2000	30.1 (43)
		20% EC	1000
		2000	63.2±3.6 (48,42)
Carbamate			
6. NAC	85% WP	1000	97.3±2.7 (60,59)
		2000	89.3±4.4 (49,51)
7. Methomyl	45% WP	1000	59.6±7.9 (60,61)
		2000	51.0±8.0 (55,60)
8. Thiodicarb	75% WP	1000	12.5 (56)
		2000	1.4 (49)
Organophosphate			
9. Acephate	50% WP	1000	94.9 (61)
10. Dichlorvos	75% EC	1000	78.7 (66)
		2000	15.2 (51)
11. EPN	45% EC	1000	43.0 (55)
		2000	26.8 (31)
12. Fenitrothion	70% EC	1000	100.0 (72)

Table 14. continue

		2000	95.4 (45)
	50% EC	1000	94.7 (60)
		2000	31.2 (65)
13. Isoxathion	50% EC	1000	100.0 (55)
		2000	98.3 (64)
14. Methidathion	40% EC	1000	89.3 (69)
		2000	16.5 (59)
15. Naled	50% EC	1000	95.8 (77)
		2000	47.1 (47)
16. Pyracrofos	35% WP	1000	100.0 (55)
		2000	98.5 (71)
17. Profenofos	40% EC	1000	100.0 (76)
		2000	100.0 (71)
Chloronicotinyl			
18. Acetamiprid	20% WS ^e	2000	95.3 (65)
Insect growth regulator			
19. Tebufenozide	20% FL ^f	4000	90.1 (41)
		1000	5.6 (48)
		2000	0.0 (37)
BT			
20. <i>Bacillus thuringiensis</i>	10.3% WP	500	4.4 (46)
		1000	0.1 (45)
Acaricides			
21. Fenpyroximate	5% FL	1000	91.5 (69)
		2000	77.0 (41)
22. Milbemectin	1% EC	1000	89.5 (45)
		2000	72.3 (51)
23. Pyridaben	20% FL	1000	82.3 (47)
		2000	75.9 (44)
24. Chlorfenapyr	10% FL	1000	1.1 (44)
		2000	4.4 (44)
Fungicide			
25. Benomyl	50% WP	2000	7.7 (45)
26. Chlorothalonil	40% FL	1000	20.7 (43)
27. Mancozeb	75% WP	500	10.9 (61)
28. Maneb	75% WP	500	45.8 (55)
29. Triadimefon	25% WP	2000	7.3 (54)
30. Zineb	72% WP	500	9.6 (66)

a Abbott's correction was applied. Numerals in parentheses are the number of mites tested.

b Mean \pm S.E.

c WP: Wettable powder

d EC: Emulsifiable concentrate

e WS: Wettable solution

f FL: Flowable

した。

2) 卵および孵化後の発育に対する薬剤の影響

ケナガカブリダニの卵を接種したナミハダニ寄生葉に薬剤を散布し、卵および孵化した幼虫の発育を継続観察して薬剤の影響を調査した。雌成虫の死亡率が100%近い薬剤は幼若虫でも高い死亡率が予測されるので、こ

では前項の結果、死亡率がおおむね80%以下であった薬剤について調査した。

プラスチックシャーレ内の湿った脱脂綿上にハダニ寄生葉(3cm \times 2cm)を2枚並べ、24時間以内に産卵された20~30卵を細筆で接種後、薬剤を散布した。散布後は25 \pm 0.5 $^{\circ}$ C、75%R. H.以上、16L-8D条件に保持し、

3~4日後に孵化率, 7日後に成虫への発育状況を調査した. 餌のハダニが供試薬剤により死亡した場合は, 適宜観察して雌成虫を追加してケナガカブリダニが飢餓状態にならないよう留意した.

b 結 果

1) 雌成虫に対する影響

供試薬剤に対する常用濃度での死亡率を Table 14 に示す. 合ピレ剤による死亡率は 30.1% (permethrin, 2000 倍)~78.9% (bifenthrin, 1000 倍), カーバメイト剤では 1.4% (thiodicarb, 2000 倍)~97.3% (NAC, 1000 倍), 有機リン剤では profenofos, fenitrothion (70%, EC), isoxathion, pyraclofos が 95%以上, EPN, dichlorvos, methidathion, naled, fenitrothion (50%, EC) では 15.2% (dichlorvos, 2000 倍)~89.3% (methidathion, 1000 倍)であった. このように SEL10 系統では, 以上の 17 種類の殺虫剤のうち 10 種類で常用濃度での死亡率は 50%以下であった. さらに IGR 系殺虫 tebufenozide, BT 剤 *Bacillus thuringiensis* での死亡率も極めて低かった. クロロニコチル系殺虫剤 acetamiprid 4000 倍は 90.1%と高い死亡率を示した.

殺ダニ剤のうち, fenpyroximate, pyridaben, milbemectin では 2000 倍での死亡率が 70%以上の一方, chlorfenapyr では 5%以下にとどまり, 薬剤により大きな差が見られた. また殺菌剤では, maneb の死亡率が 45.8%と比較的高い値を示したほかは, 他の薬剤ではいずれも 30%以下にとどまった.

2) 卵および幼若虫の発育に対する影響

薬剤が散布された葉上での卵の死亡率と孵化幼虫の発育期間中の死亡率をみると (Table 15), 殺虫剤の殺卵効果が低く, 卵死亡率は最大 11.7% (methomyl, 1000 倍)にとどまった. 引き続いて葉上で孵化した幼虫の発育状況をみると, 合ピレ剤では, 死亡率が 55.0% (permethrin, WP)~89.6% (fenprothrin)であり, いずれも成虫に達した. さらにカーバメイト剤の methomyl と thiodicarb でも同様に幼若虫死亡率は 20%後半と低かった. また有機リン剤では EPN で幼若虫の死亡率が 95.9%に達したが, dichlorvos と naled では死亡率が極めて低かった. これは dichlorvos と naled は残効性が短く, 孵化時にはすでに殺虫効果が失われたためと推測される.

一方, 殺ダニ剤では pyridaben の卵死亡率が 87.8%に達し, fenpyroximate と milbemectin でも卵死亡率が 20.3%と 45.8%を示し, 殺卵効果が認められた. さらに薬剤の付着した葉片上では孵化幼虫は成虫に発育で

きずにすべて死亡し, 供試した 3 薬剤はいずれも発育に対して悪影響が大きかった. さらに殺菌剤でも maneb と mancozeb には高い殺卵効果が見られ, わずかに生存した孵化幼虫も全く発育せずに死亡したが, その他の薬剤では幼若虫死亡率は 30%以下であった.

3 考 察

a 合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニ放飼によるカンザワハダニの制御

鉢植えのチャに抵抗性ケナガカブリダニを放飼した結果 (Fig. 11), R1~3 区ではカンザワハダニ個体数増加に遅れたケナガカブリダニの増加が合ピレ剤散布下で観察され, 放飼された抵抗性カブリダニはハダニを制御した. これとは逆に感受性系統を放飼した S1~3 区ではハダニだけが増加したので, カブリダニは放飼後の合ピレ剤散布によって死滅したと判断できる.

さらに網室内の小規模茶園 (Fig. 10, 12) では, 放飼区でのケナガカブリダニ密度が無放飼区より早く上昇し, 6月12日~7月3日までは放飼区のカブリダニ密度は有意に高く推移した. さらに放飼区の被害葉率も無放飼区の 1/3 に低く抑えられたのは, カンザワハダニの密度増加が早期に成葉で抑制され, 新芽に移動して加害する個体が少なかったためと考えられる. さらに放飼区由来のケナガカブリダニに合ピレ剤抵抗性を確認できたことも考慮すれば, 室内で増殖後に放飼された抵抗性カブリダニが野外でも有効にカンザワハダニを制御したと判断される.

新芽に対するカンザワハダニの被害は, 萌芽前の成葉で増殖した個体群が新芽に移動して吸汁することでおきる (刑部, 1967a). 無放飼区で 6 月下旬までカブリダニが観察されず, 被害葉率も放飼区の約 3 倍に達したのは, 合ピレ剤が無放飼区に残存する在来の感受性ケナガカブリダニ個体群を排除し, 周囲からの侵入も阻止したため, 成葉で増殖したハダニが新芽へ移動したことを示している. 無放飼区でも 6 月末に低密度ながらケナガカブリダニが観察されたが, これ由来の系統の合ピレ剤感受性は高かった (Table 13). これは, 合ピレ剤が最後に散布されてから 10 日以上経過し, 薬剤の残効が低下する一方で, 新芽の生育により薬剤未付着葉が生じ, 網室周囲から無放飼区への感受性個体群の侵入と定着が起きたことを示しているであろう.

10m²に 400 頭を放飼したので, 1ヘクタール相当の茶園のカンザワハダニを 2 番茶時期に制御するには, 400,000 頭もの多数のケナガカブリダニが必要となるこ

Table 15. Effects of pesticides on *A. womersleyi* (SEL10 strain) development

Pesticide	Dilution	Egg mortality (%) ^a	Immature mortality (%) ^a
Insecticides			
Synthetic pyrethroids			
Fenpropathirn	1000	6.1±2.8 (30,81)	85.7±4.0 (29,72) ^b
	2000	1.8 (60)	89.6 (56)
Fluvalinate	2000	6.5 (78)	56.5 (73)
Permethrin ^c	2000	5.6±3.3 (60,60,81)	55.0±3.1 (52,54,79)
Carbamate			
Methomyl	1000	11.7 (82)	28.4 (68)
Thiodicarb	1000	2.8 (80)	24.8 (73)
Organophosphate			
Dichlorvos	1000	0.2 (77)	0.0 (72)
EPN	1000	0.0 (56)	95.9 (55)
Methidathion	1000	4.1 (78)	57.5 (72)
Naled	1000	0.0 (61)	0.2 (59)
Acaricides			
Fenpyroximate	1000	20.3 (79)	100.0 (63)
Milbemectin	1000	45.8 (83)	100.0 (10)
Pyridaben	1000	87.8 (82)	100.0 (45)
Fungicides			
Benomyl	2000	0.0 (78)	20.1 (77)
Chlorothalonil	1000	2.1 (86)	4.4 (82)
Maneb	500	97.2 (71)	100.0 (2)
Mancozeb	500	92.2 (77)	100.0 (6)
Triadimefon	2000	0.9 (88)	0.0 (85)
Zineb	500	0.7 (92)	29.5 (89)

^a Abbott's correction was applied. Numerals in parentheses are the number of females tested.

^b Mean±S.E.

^c 20%WP

とがわかる。北米では落葉果樹を加害する *Tetranychus macdanieli* MCGREGOR, ナミハダニ, ミカンハダニを制御するために、薬剤抵抗性のオキシデンタリスカブリダニが放飼されたが (CROFTら, 1972; HOYら, 1983), 短期的なハダニの制御を目的とするよりも、むしろ感受性のカブリダニを抵抗性に置き換えることが目的とされる。そしてそれらの報告では、一樹あたり適切な放飼数を128~1000個体としている。チャは永年性作物なので、落葉果樹でのこのようなハダニ制御手法は応用できると考えられる。今後は、定着に必要な放飼数を明らかにし、抵抗性系統利用を組み込んだチャ害虫防除体系を検証する必要がある。

b ケナガカブリダニ以外の天敵の発生

茶園ではカブリダニ類以外のハダニ類の主な捕食性天

敵としてハダニアザミウマ *Scolothrips takahashii* PRIESNER, ハネカクシ類 (*Oligota kashimirica* NAOMI, *Oligota yasumatsui* KISTNER), 捕食性タマバエ (*Feltiella* sp) が知られ、それらのハダニ制御効果に注目が払われてきた (刑部, 1967a; 浜村, 1986; 中川, 1993; 長友ら, 1991; 西ら, 1996)。しかし静岡県と佐賀県の茶園での調査によれば、これら天敵の寄生葉率はケナガカブリダニよりも低く、時期的にも場所的にもその発生が偏る (浜村, 1986; 中川, 1993)。本研究でも小規模茶園での調査終期の7月3日に無放飼区で、ハダニアザミウマ成幼虫を最大で合計6個体発見したが、この時カンザワハダニ雌成虫密度は葉あたり3.8個体の多発状態にあり、新葉の被害葉率もここでは70%以上に達した。また中川 (1993) も、夏から秋にかけて、成葉

でのハダニ寄生率が100%に達するような多発部分で局所的に、ハダニアザミウマとハネカクシ類の寄生率が上昇することを認めている。このようにこれら天敵昆虫はハダニが低密度時には機能せず、新葉への被害抑制効果は期待できないとみられる。

しかしこれら天敵昆虫の捕食能力はカブリダニ類よりも高く、ハダニアザミウマ成虫は30℃ではハダニ雌成虫を一日あたり7.4個体捕食し、ハネカクシ老熟幼虫では一日あたり28個体という非常に高い捕食量を示す(中川, 1993)。したがって天敵昆虫には新葉の被害を防止する効果よりもむしろ、多発したカンザワハダニを短期間で制御し、ハダニの加害によるチャの生育全般(樹勢)への悪影響を抑える働きが期待できる。今後、天敵昆虫の働きを評価するためには、このような樹勢への被害評価方法を確立することが必要である。

c. 合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニに対する各種薬剤の影響

SEL10系統の雌成虫について、その殺虫剤感受性を同様の手法による既報告と比較すると、1970年代のブドウ園で採集されたケナガカブリダニは調査したすべての有機リン剤とカーバメイト剤で常用濃度での死亡率がほぼ100%に達し(真梶ら, 1978)、1980年代前半の静岡県の茶園のケナガカブリダニでは有機リン剤とカーバメイト剤抵抗性が認められた。しかし、その合ピレ剤感受性は極めて高く、調査された12薬剤の LC_{50} 値は常用濃度を大きく下回った(浜村, 1986)。さらに佐賀県の茶園のケナガカブリダニにも同様な傾向が認められた(中川, 1989)。一方SEL10系統は、すべての薬剤とまではいかないが多くの合ピレ剤、有機リン剤、カーバメイト剤に常用濃度で生存可能なレベルに抵抗性を発達させていることを改めて確認できた。

triadimefonは、SEL10系統では発育に対する悪影響が全くなかったが、佐賀県のケナガカブリダニでは幼若虫で約70%の高い死亡率となった(中川, 1990)。また同様に悪影響がなかったbenomylに対しても、岡山県のブドウ園系統では、本研究と同様の手法で77%の死亡率が得られている(真梶ら, 1978)。ケナガカブリダニではこれまで殺虫剤抵抗性が注目されてきたが、これらの結果は殺菌剤感受性の系統間変異を示唆しており、今後殺菌剤抵抗性の有無を確認する必要がある。なおチャでは未登録だが果樹類に使用されるmaneb、mancozebでは発育が著しく阻害された。果樹のハダニ類制御にカブリダニ類の利用を考える際には、これら殺菌剤の悪影響に注意が必要である。

SEL10系統のpermethrin水和剤2000倍での死亡率は成虫で30.1%、幼若虫で55%であったが、茶園での放飼は効果的であり、ケナガカブリダニの動態に悪影響が見られない。さらに静岡県の茶園での発生消長調査によれば(浜村, 1986)、methidathion散布はケナガカブリダニの動態に悪影響を与えていないが、その個体群の LC_{50} 値は約30ppmにとどまった(浜村, 1986)。しかしこの値を求めた濃度-死亡率プロビット回帰式から求めた常用濃度(1000~2000倍)での雌成虫死亡率は80~90%と推定される。このように常用濃度の室内検定結果に80%程度の死亡率が見られる場合でも、茶園ではケナガカブリダニに対する悪影響は生じないことがわかる。以上をふまえると、今回1000~2000倍の常用濃度で雌成虫と幼若虫死亡率がほぼ80%以下にとどまった合ピレ剤、および有機リン剤のmethidathion, dichlorvos, EPN, naledやカーバメイト剤のmethomylとthiodicarb, さらにIGR剤, Bt剤, 殺菌剤ではbenomyl, chlorothalonil, triadimefonは野外においても抵抗性系統への悪影響は少ないと推測される。

チャはその樹状構造により、摘採面上に散布された薬剤のうち葉層中部に達する量は散布量の約20%にしかすぎず(KAWAIら, 1999)、さらにケナガカブリダニの活動場所は薬剤の付着しにくい葉の裏側なので、虫体への薬剤付着量は悪影響の生じるレベルに達しないと思われる。これまでに合ピレ剤による茶園でのカンザワハダニのリサージェンスが起きたのは、このようなチャの樹状構造によってケナガカブリダニへの付着量がかなり削減されても、まだその悪影響が生じるほどカブリダニの感受性が高かったためと推測される。このような室内と野外での薬剤影響の違いの実態解明には、今後カブリダニへの薬剤付着量と死亡率との関係を調べる必要がある。

ところでチャの栽培管理では、樹勢回復を目的に5年前後の間隔で葉層を大きく刈り落とす中切り更新が行なわれる。そのため、常に厚い葉層があるとは限らず、更新直後は葉層が極めて薄く、薬剤が付着しやすくなる。本研究でもカーバメイト剤NAC, 有機リン剤acephate, profenofos, fenitrothion (70%, EC), isoxathion, pyraclofosでは1000倍でほぼ100%、2000倍でもほぼ90%以上の死亡率が雌成虫で示されたので、これら薬剤が直接付着すれば抵抗性系統といえども生存は困難である。したがって更新直後には、これら一部の薬剤使用は控えるべきである。またカブリダニによる制御が不十分と予測される時には、殺ダニ剤がハダニ密度を一時的に下げる手段となるが(柏尾, 1983)、今回調査した殺ダ

ニ剤のうち3種類では雌成虫の死亡率は70%以上に達し、また発育にも強い悪影響が見られた。殺ダニ剤散布時には単位面積あたり散布量を増して株内部まで入念に散布することも考えれば、カブリダニの働きを補完する目的には、高い死亡率を示す殺ダニ剤を用いるべきではないであろう。

施設野菜での天敵利用では、一般に処理葉片への接触や直接散布によって併用可能な薬剤が選択され、例えばオンシツコナジラミ *Trialeurodes vaporariorum* (WESTWOOD) の天敵オンシツツヤコバチ *Encarsia formosa* GAHANではその基準は生存率が80%以上の薬剤とされる(河合, 1988)。一方チャにおけるケナガカブリダニの利用では、室内試験でカブリダニが高い死亡率を示しても茶園では悪影響を受けない薬剤が多くあることが示唆される。室内検定だけではケナガカブリダニと併用可能な薬剤を少なく見積もることになろう。栽培現場での使用に反映可能な薬剤の影響評価を行なうには、カンザワハダニとケナガカブリダニを放飼した鉢植え茶樹やカブリダニが発生している茶園を用い、対象とする薬剤の散布下での両種の個体群動態を無散布区と比較する必要がある。

VI チャ害虫管理における薬剤抵抗性系統の利用

本研究で選抜した合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニの放飼により、鉢植え茶樹と網室内の茶園で合ピレ剤散布条件下でのカンザワハダニの制御を確認できたので、次は抵抗性ケナガカブリダニの有効性をチャ害虫防除体系の一環として示す必要がある。そこで本章前半では合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニが定着した茶園で両種の個体数変動を調査するとともに、同一茶園で新芽吸汁性害虫に対する合ピレ剤による防除効果も調査し、生物的防除と化学的防除の両立を実証した。

カンザワハダニの新葉に対する被害は、成葉での個体群の増殖と新芽の伸長が一致し、成葉で増加した個体群が収穫対象となる新葉へ移動して加害する場合に発生する。研究を実施した静岡県では、近年一番茶の摘採が早期化しているため、一番茶の被害は問題にならず、むしろ5月中旬～6月下旬の二番茶で目立つ。この時期カンザワハダニ密度の増加に続いてケナガカブリダニ密度も増加するが、両種の発生状況により、ハダニの被害発生程度が異なる。例えばハダニの二番茶萌芽前での密度が高いにもかかわらずカブリダニの密度が低く推移すると、

収穫対象である二番茶新葉には著しい被害が発生する。また収穫期以外の成葉に著しく多発した場合にも、落葉やその後の新芽の生長抑制が起きるとされる(南川・刑部, 1979)。したがってケナガカブリダニを活用したカンザワハダニの被害抑止のためには、このような制御するチャの被害状況に応じたカブリダニの活用方法を検討する必要がある。ケナガカブリダニが活動する茶園では、そうでない茶園に比べてカンザワハダニの寄生率が低いといわれるが(浜村, 1986; 西ら, 1996)、被害とハダニおよびカブリダニ発生程度との関係は未解明であり、カンザワハダニによる被害に対するケナガカブリダニの生物的防除の効果についての評価は十分行われていない。さらにカンザワハダニの被害解析は新葉と幼木にとどまり(鬼丸, 1979)、成木全体での被害解析は未着手なままである。したがってカンザワハダニの生物的防除技術の開発を進めるためには、まず被害の評価が可能な新葉についてだけでもハダニによる被害に対するカブリダニの生物的防除の有効性を検討する必要がある。

そこで本章後半では、一番茶摘採後から二番茶収穫期における新葉に対するカンザワハダニ被害の制御要因としてケナガカブリダニがどのように働くかに注目しつつ、両種の動態と新葉に対するハダニの被害との関係について調査した。

1 材料と方法

a 調査茶園の設定と薬剤散布

第三章で用いた東園6号圃場の茶園(栽植面積4.0a, 品種‘やぶきた’)を対象に1994年の二番茶時期に調査を行った。調査開始前の栽培管理は場内の慣行管理に従い、カンザワハダニによる一番茶での被害を防ぐため3月10日に殺ダニ剤 clofentezine 20%フロアブル剤 2000倍を400 l/10a相当量散布した。また一番茶摘採を5月9日、整枝を5月16日に行った。調査時期はチャノナガサビダニ *Acaphylla theavagrans* KADONOの多発時期にあたるので、それによる新葉の褐変を防ぐため、5月19日に殺ダニ剤 propargite を全面に散布した(Table 16)。

カンザワハダニとケナガカブリダニの密度と新葉での被害との関係を調べるためには、両種の発生状況や被害程度が異なる調査域を設定する必要がある。カンザワハダニの生息密度は長期間の降水や豪雨の影響、風を伴う降水により減少するので(南川・刑部, 1979)、調査園の一部分1.3aに遮光率50%の黒色寒冷紗を2~3mの高さに設置して風雨の影響を緩和し、その多発条件を整えた部分(以後、被覆部分と略)を設けた(Fig. 13)。

Table 16. Spray schedules in an experimental tea field in 1994

Date of application	Pesticides (% AI, formulation type, dilution, Amount of application per 10a)	
	Synthetic pyrethroid Control area	Conventional control Area
March 10	Clofentezine (20%, FL ^a , 1000, 400)	Clofentezine (20%, FL, 1000, 400)
May 19	Propargite (57%, EC ^b , 1000, 400)	Propargite (57%, EC, 1000, 400)
May 31	Permethrin (20% WP ^c , 2000, 200)	Pyraclofos (50%. EC, 1000, 200)
June 8	Fluvalinate (20%, WP, 2000, 200)	Methidathion (40%, EC, 1000, 200)
June 15	Fenpropathrin (10%, EC, 2000, 200)	Cartap (10%, WS ^d , 1000, 200)

a Flowable

b Emulsifiable concentrate

c Wettable powder

d Water soluble concentrate

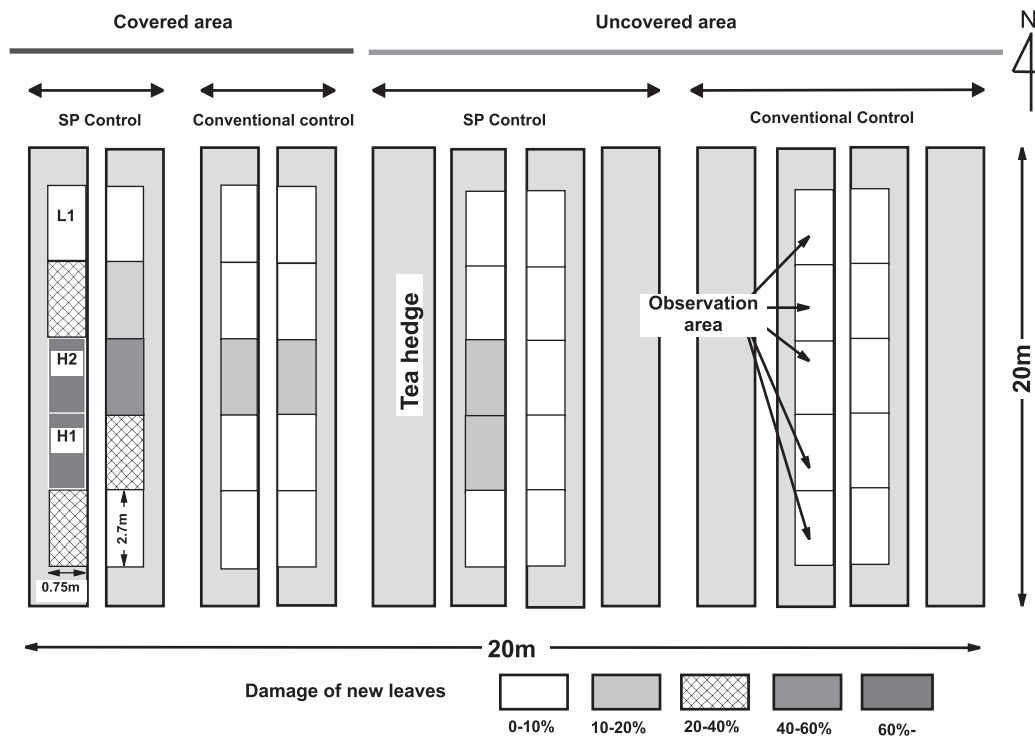


Fig. 13 Design of an experimental tea field at the Kanaya (Shizuoka) research institute. The 1.3a of the tea field were covered with black cheesecloth (50% shading rate) at a height of 2–3m. Damage to new leaves by *T. kanzawai* in each plot on June 22 are shown at 5 levels.

次に合ピレ剤散布下でのケナガカブリダニの発消長と新芽吸汁性害虫の発生ならびに被害を明らかにするため、被覆部分、無被覆部分の半分を合成ピレスロイド剤散布区（以後、合ピレ剤区と略）とした。残りの部分は、従来からの防除体系に従って有機リン剤およびネライストキシン剤を散布し、慣行薬剤区とした（Fig. 13）。これらの薬剤散布を5月31日、6月8日、15日の3回行った（Table 16）。

b カンザワハダニとケナガカブリダニの発消長、および新芽の被害程度

1994年5月18日から6月30日まで両種の発消長を約1週間ごとに調査した。各薬剤区の中央部分を10調査区画（面積2m²）に分割し（Fig. 13）、それぞれの裾部と摘採面から成葉25葉ずつ合計50葉をランダムに選び、ハンドルーベ（×16）で観察し両種の雌成虫数を計数した。6月中旬以降は二番茶新芽が伸長して摘採面を覆うため、上記に加えてさらに50本の新芽をランダムに選び同様の調査を新芽単位で行った。なお本調査で

は各調査区画間での両種の移動を妨げる物理的障壁を設けなかった。また発生したケナガカブリダニの合ピレ剤抵抗性を確認するため、5月31日に採集個体群を飼育して、雌成虫の合ピレ剤感受性を調査した。

次に新葉への被害程度と収量を調査した。まず被害評価では、同一被害葉率でも各葉の被害状態が異なるので被害度を重み付けした被害度指数を用いた。すなわち摘採適期にあたる6月22日に各調査区画から50本の新芽をランダムに選び、その全新葉の被害程度を、0（被害なし）、1（吸汁による斑点がわずかにみられる）、2（吸汁による斑点が容易にわかる）、3（斑点が集積し葉の裏が褐変し始める）、4（被害がひどく葉の1/3以上が褐変して落葉しやすい）の5段階に分類し、各調査区における指数を下式から求めた。

$$\text{被害度指数} = \frac{4N_4 + 3N_3 + 2N_2 + N_1}{N \times 4} \times 100$$

ここでNは総調査葉数、 N_i は被害程度*i*の葉数を示す。

さらに上記調査の2日後の6月24日に収量を調査した。各調査区の中央部分に20×20cmの正方形の金枠を畝方向に50cm間隔で2つ設置し、枠内の新芽を手摘み後、直ちに計量して2カ所の平均値を各区画の枠摘み収量とした。

c チャノキイロアザミウマとチャノミドリヒメヨコバイに対する合ピレ剤の防除効果

チャノキイロアザミウマとチャノミドリヒメヨコバイの防除に合ピレ剤がより効果的であることを示すため、各薬剤区の両種の発生活長をたたき落とし法により調査し、さらに新芽の被害芽率も調査した。まず発生活長については、5月18日～6月30日まで週1～2回の頻度で調査した。すなわち長さ50cm、直径2cmの塩化ビニール製パイプを使って各薬剤区の任意の5カ所で10回ずつ合計50回株を叩き、そばに配置した25cm×25cmの粘着板上に落下した両種の成幼虫数を実顕顕微鏡下で計数した。被害については、摘採時期の6月24日に40調査区画それぞれの任意の2カ所に20cm×20cmの枠を置き、枠内の全新芽を採取して実験室へ持ち帰り、一本ずつ肉眼で観察して被害芽率を算出した。

2 結果および考察

a カンザワハダニとケナガカブリダニの発生活長および被害程度

試験場内の気象観測装置による調査期間中の最低気温は8.8℃（5月20日）、最高気温は34.5℃（6月27日）

であった。

調査した全区画に両種が発生した。カンザワハダニ密度は調査開始時から上昇し、殺ダニ剤 propargite 散布後も引き続き増加した。さらに調査茶園で採集したケナガカブリダニ雌成虫の permethrin, fluvalinate, fenpropathrin に対する実用濃度での死亡率は10%程度であったので（Table 17）、発生したケナガカブリダニは合ピレ剤抵抗性であると確認された。

Fig. 13 では、各調査区画でのカンザワハダニ被害率を25%刻みで図示し、さらに被覆の有無と散布薬剤の異なるそれぞれの処理区ごとに、両種の発生活長を Fig. 14 に示した。両部分ともに合ピレ剤区での調査初期のカンザワハダニ密度が慣行薬剤区よりも高く、この違いが調査期間を通じて合ピレ剤区でのハダニ密度が高く推移した一原因と推測された。被覆部分（Fig. 14-1）ではカンザワハダニ密度が合ピレ剤区で6月4日に2.42頭/葉にまで上昇し、慣行薬剤区での最大値0.69頭/葉（5月25日）の3倍以上になり、5月19日～6月4日と6月15日には薬剤区間で有意差が認められた（WILCOXONの順位和検定、 $p < 0.05$ ）。ケナガカブリダニ密度もカンザワハダニの密度上昇に続いて増加し、6月15日には合ピレ剤区で最大で0.19頭/葉となり、慣行薬剤区での最大値0.12頭/葉を大きく上回り、6月4日と8日の密度には薬剤区間で有意差が認められた（WILCOXONの順位和検定、 $p < 0.05$ ）。また無被覆部分（Fig. 14-2）では両薬剤区ともにカンザワハダニが6月4日に、ケナガカブリダニが6月15日にピークに達した。ハダニでは5月19日、カブリダニでは6月30日を除いては、密度には薬剤区間で有意差は認められなかった（WILCOXONの順位和検定、 $p > 0.05$ ）。このようにカンザワハダニ密度が合ピレ剤区で慣行薬剤区を上回る傾向が認められたが、ケナガカブリダニ密度も上昇しており、合ピレ剤散布後のハダニだけが多発するリサージェンス現象は見られなかった。このように各調査区画を平

Table 17. Susceptibility of *A. womersleyi* collected from an experimental tea field field in 1994

Pesticide(%AI, formulation, dilution)	Mortality(%) ^a
Permethrin (20%, WP, 2000)	13.6 (52) ^b
Fluvalinate (20%, WP, 2000)	7.7 (43)
Fenpropathrin (10%, EC, 2000)	11.2 (40)

^a Abbott's correction was not done.

^b Numbers in parentheses are the number of individuals tested.

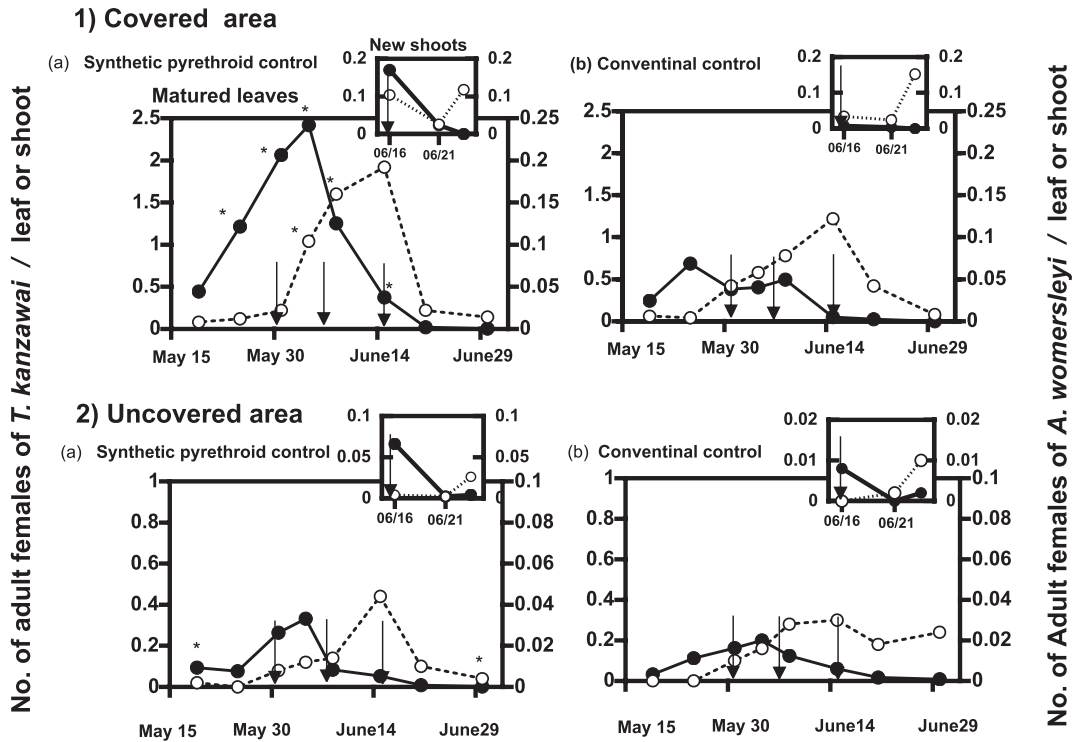


Fig. 14 Changes in population density (adult females per leaf) of *T. kanzawai* (—) and *A. womersleyi* (-----) under 2 different pest control programs in experimental tea fields. Small graphs indicate population changes in 2 species on new shoots. Arrows indicate insecticide application. Asterisks indicate significant differences in density of each species between pest control programs on each survey day ($p < 0.05$, Wilcoxon two sample test).

均した発生消長のパターンにはハダニの増加を追ってカブリダニが増加する同様の関係が見られた。また被覆部分の合ピレ剤区を例に、さらに細かく各調査区画で両種の密度変化をみても各区画で両種の種間関係が見られ (Fig. 15), このように茶園全体の両種の変動はこれら個体群動態の集合として表現されていた。Van de KLASHORSTら (1992) は、リンゴ若木にナミハダニとオキシデンタリスカブリダニを放飼して両者の個体数変動を調査し、金属棒をもちいて樹間を連結すると、しない場合よりも両種の密度が低く推移することを示した。茶園の摘採面では成葉が相互に接触し、ここでは両種の移動が可能と考えられるので、茶園には前述の連結したリンゴ樹で示されたような両種の個体数変動を安定化させ、その相互作用系が長期間継続する働きが発揮されているものと推測される。今後は、ハダニ制御のメカニズムをさらに詳しく解明するため、両者の個体群変動過程について葉、枝、株などサブ個体群単位での調査が必要である。

新葉においてもその開葉期から摘採適期にあたる6月16～23日には、伸長した新芽に寄生するカンザワハダ

ニを捕食するケナガカブリダニを観察できた。被覆部分の合ピレ剤区では、芽あたりハダニ雌成虫密度が6月16日の0.2頭から、1週間後の6月23日にはほぼ0になり、かわって芽あたりカブリダニ密度が0.1頭以上に増加した (Fig. 14-1)。従来、茶園における両種の発生消長は成葉で調査されてきたが (浜村, 1986), このように調査部位を分けたことにより、新芽に寄生したカンザワハダニに対するケナガカブリダニの制御を示すことができた。

b ケナガカブリダニによるカンザワハダニの被害抑制

新葉でのカンザワハダニの経済的被害許容水準 (EIL) については、鬼丸 (1979) が三番茶時期に、寄生葉率の異なる茶園を対象に収量調査と荒茶の品質評価をおこない、収量および品質に影響をあたえる被害の許容限界値は摘採時の被害葉率で20%としている。この報告は、各葉の被害程度は未検討である点や本研究とは異なる三番茶期での結果ではあるが、これより詳しい報告はないので、ここではハダニの吸汁加害による褐色斑点がわずかにある被害程度以上の葉をすべて被害葉として扱い、摘採時の新葉の被害葉率20%をEILとして議

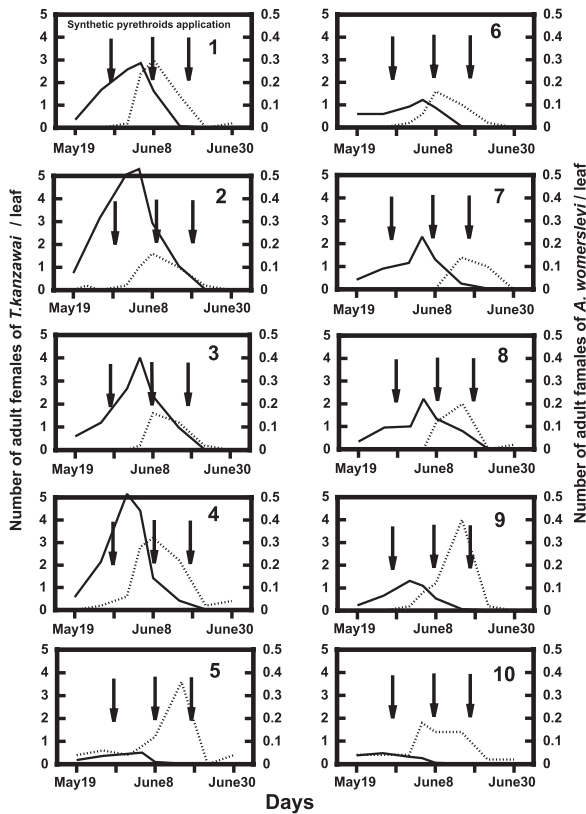
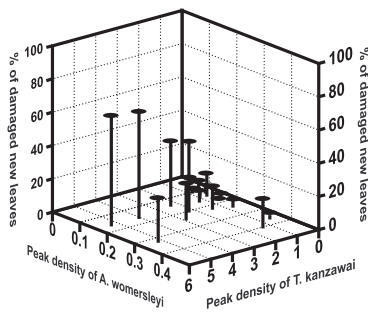


Fig.15 Population changes in *T. kanzawai* (—) and *A. womersleyi* (-----) in each of 10 areas of a tea field with the application of synthetic pyrethroids under cheesecloth.

(a) Covered area



(b) Uncovered area

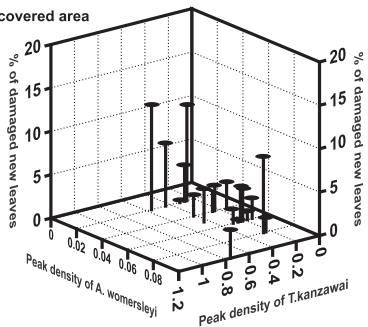


Fig. 16 Effect of peak density of *T. kanzawai* and *A. womersleyi* on damage to new leaves on June 22, 1994.

論を進めたい。

まずケナガカブリダニによるカンザワハダニの被害抑制効果を評価するため、各区の両種一葉あたりピーク時密度と摘採時期における新葉の被害葉率との関係を検討した。被覆の有無でハダニのピーク密度が平均で約7倍異なったので、被覆部分と無被覆部分に分けてケナガカブリダニとカンザワハダニ葉あたり雌成虫密度をそれぞれ x , y 軸に、摘採時における被害葉率を z 軸にとり3次元グラフで示した (Fig. 16). 被覆部分では、ハダニ密度が2.0以上かつカブリダニ密度が0.2以下の区画での被害葉率がEILとされる20%を大きく上回った。その一方、ハダニ密度が2.0以下かつカブリダニ密度が0.2以上では被害葉率が20%以下になり、カブリダニ密度が高いと被害葉率が低くなる傾向がみられ、カブリダニが被害制御要因として有効に機能していると推測された。さらに全調査区画についてハダニ密度に対するカブリダニ密度の比率 (x) と新葉での被害葉率 (y) (いずれも逆正弦変換値) との間には有意な負の相関 ($r = -0.52, p < 0.01$) がみられ (Fig. 17), その比率が高いほど、ハダニに対する制御力が強く働くと考えられた。

変数変換後の平均被害葉率を処理区ごとに Table 18 に示した。各薬剤区での平均被害葉率は、被覆部分の合ピレ剤区では23.2%に達し、慣行薬剤区での2.4%の約10倍に達した ($p < 0.05$, 逆正弦変換後の t 検定)。なかでも中央部分の4区画の被害葉率が特に高く、60%を超える2区画 (Fig. 13中のH1, H2) でのカンザワハダニ密度は5.3頭/葉と4.0頭/葉 (5月31日) にも達したが、ケナガカブリダニのピーク密度はいずれも0.16頭/葉 (6月8日) にとどまっていた。ただ同じ合

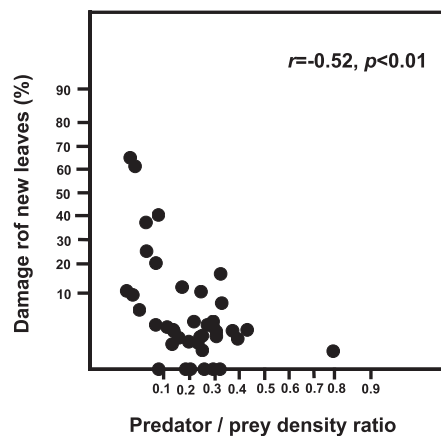


Fig. 17 Damage to new leaves on June 22 related to *A. womersleyi*/*T. kanzawai* density ratio at their peak density. Data were transformed by $\sin^{-1}\sqrt{x}$.

ピレ剤区内でも被害葉率 1%以下の区画 (Fig. 13 中の L1) でのカンザワハダニ密度は最高 0.5 頭/葉 (6月4日)にとどまり, ケナガカブリダニ密度は 0.36 頭/葉 (6月15日)に上昇していた. また調査開始時点でも区画 H1, H2 のカンザワハダニ密度はそれぞれ 0.74 頭/葉, 0.60 頭/葉で区画 L1 の 0.18 頭/葉の 3~4 倍になっていた. このように被覆部分の合ピレ剤区ではカンザワハダニ初期密度が高い部分と, ケナガカブリダニ密度が低くとどまった部分が重なったため, ハダニが新葉に移動してしまい被害葉率が高まったと考えられた. 一方, 無被覆部分での平均被害葉率にも薬剤区間で有意差が認められたが ($p < 0.05$, 逆正弦変換後の t 検定), その値は合ピレ剤区が 5.0%, 慣行薬剤区で 1.1%にとどまり, 被害は被覆部分に比べれば軽微であった.

Fig. 13 に示すように全 40 区画の 85%にあたる 34 区画では被害葉率が EIL 以下に制御され, それら区画で

のハダニ雌成虫のピーク時の葉あたり密度は 2.0 以下であった. さらにそのうち 30 区画では被害葉率が 10%以下に抑えられ, 自然に発生したカブリダニ個体群による新葉での被害制御能力は高かった. しかし一部の被害葉率は EIL を大きく越える 60%以上にも達したので, 両種の発生状況によっては新葉への経済的被害が生じることも明らかになった. 新葉に対するハダニの被害防止のためには, ハダニおよびカブリダニの発生状況に基づき, 被害が EIL を越えることが想定されるときには, カブリダニに悪影響のない殺ダニ剤の散布やカブリダニの放飼, あるいは両手法の組み合わせが必要ことが示唆される. なお収穫を想定しない場合は, 成葉と新葉を含む茶樹全体の生育に対するカンザワハダニの被害をケナガカブリダニ生息区と除去区と比較する必要がある. 永年性作物である成木茶樹全体の被害の評価方法は未解明であり, 今後の課題として残されている.

Table 18. Damage to new leaves by *T. kanzawai* under different pest control programs in an experimental tea field (Fig.11).

Area	Damage rate (%) of new leaves (mean with 95% C.L.) ^a		
	Synthetic pyrethroid control		Conventional control
Covered area	23.2 (7.8-43.7)	*	2.4 (0.4-6.3)
Un-covered area	5.0 (2.8- 7.8)	*	1.1 (0.0-2.6)

^a Mean damage rate of 10 plots on 22 June 1994. Means and confidence limits were calculated after transformed by $\sin^{-1}\sqrt{x}$.

* Significantly different between pest control programs in each area ($p < 0.05$, t -test after transformed by $\sin^{-1}\sqrt{x}$)

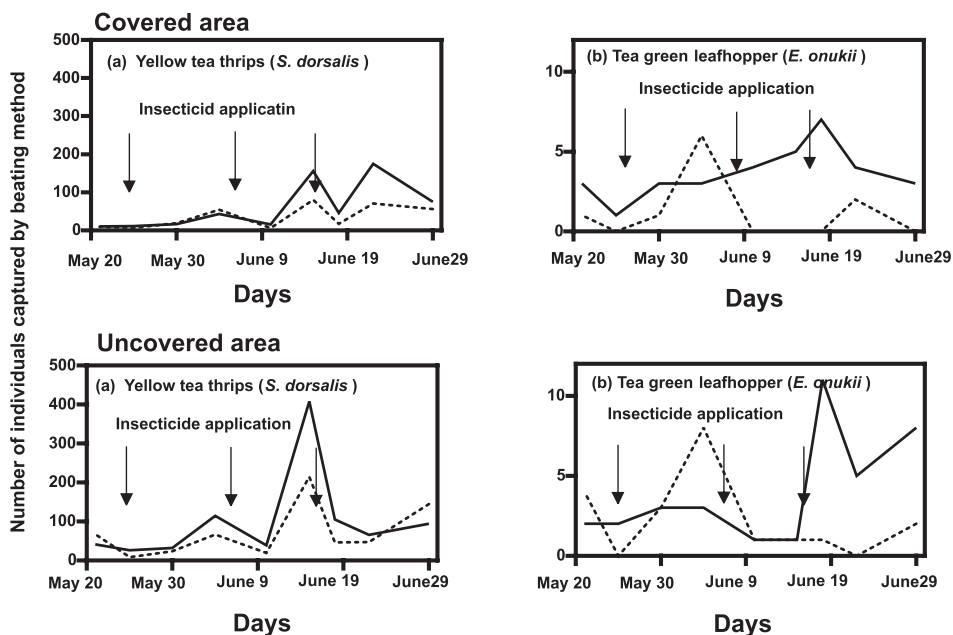


Fig. 18 Changes in the number of sucking pests captured by beating under two spray schedules (synthetic pyrethroids control (-----) and conventional control (—)) with two different managements.

c 新芽吸汁性害虫の合ピレ剤による制御

新芽が伸長して摘採期に至る6月14日~23日にかけては、被覆の有無に関らず合ピレ剤区でのアザミウマ数は慣行薬剤区との約半分にとどまり、ヨコバイでも調査期間を通じて低く推移した (Fig. 18). たたき落とし虫数の総和を調査回数で割算した期間中の平均値と比較すると (Table 19), 両種ともに無被覆部分では薬剤区間に有意差はなかったが、被覆部分では合ピレ剤区でのチャノミドリヒメヨコバイのたたき落とし虫数が0.6に留まり、慣行薬剤区との間に有意差が認められた (対数変換後の t 検定, $p < 0.05$). このように合ピレ剤区での両種の発生は慣行区よりも低い傾向があり、合ピレ剤により両種の密度が抑えられたと推測される。

Table 20 には新芽の被害芽率を示す。チャノキイロアザミウマによる被害芽率は被覆部分では両区とも20%程度であり有意差はなかったが (G 検定, $p > 0.05$), 無被覆部分の合ピレ剤区では31.5%, 慣行薬剤区では42.0%に達し、区間で有意差が認められた (G 検定, $p < 0.05$). チャノミドリヒメヨコバイによる被害芽率は最大でも6.0% (無被覆部分の慣行薬剤区) にとどまったが、薬剤区間には有意差が認められ (G 検定, $p < 0.05$), 合ピレ剤の被害抑制効果は慣行薬剤より優れていると判

断できた。以上のように、合ピレ剤の新芽吸汁性害虫に対する防除効果は慣行薬剤よりも優れるか同等であることを確認でき、前述した合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニによるハダニの制御とあわせ、チャにおける生物的防除と化学的防除の両立を実証した。

d カンザワハダニによる被害程度と収量との関係

全40調査区画で求めたカンザワハダニによる新葉での被害度指数と採摘み収量との関係を Fig. 19 に示した。寒冷紗による被覆の有無により新芽の生育が異なる可能性があるため、部分ごとに区別して示した。なお前項で述べたように、これらの調査区画は合ピレ剤と慣行薬剤区に分けられていたため、新芽吸汁性害虫による被害程度が薬剤区間で異なるが、その差は、ヨコバイで6%以下、アザミウマでも20%の範囲内にとどまり極端な差はないので、これら害虫による加害は調査区間での収量に差を起さないと判断した。

被覆部分で被害度指数が30以上に達する調査区画が生じたが、採摘み収量との相関係数は $r = -0.07$ (被覆部分), $r = -0.30$ (無被覆部分) を示し有意ではなかった ($p > 0.05$). ハダニの接種により初期密度を変えた2~5年生の幼木では、被害度指数が高いほど落葉が多く、新芽の伸長が抑制されることが知られる (鬼丸, 19

Table 19. Effect of pest control programs on the occurrence of sucking pests, *Scirtothrips dorsalis* and *Empoasca onukii*

Condition of tea field	Pest species	Number of individuals captured (mean with 95% C.L.) ^a		
		Synthetic pyrethroids control		Conventional control
Covered area	<i>S. dorsalis</i>	23.9 (10.7-51.8)	n.s. ^b	36.7 (15.5-84.7)
	<i>E. onukii</i>	0.6 (0.0-1.8)	*	3.4 (2.3-4.9)
Uncovered area	<i>S. dorsalis</i>	47.1 (21.6-101.6)	n.s.	70.0 (36.1-134.8)
	<i>E. onukii</i>	1.5 (0.5-3.4)	n.s.	3.2 (1.6-5.7)

^a Mean numbers of individuals captured by 9 times of beating methods conducted during the study periods (18 May-30 June, 1994).

Means and confidence limits were calculated after transformation by $\log_{10}(x+1)$.

^b Not significant between pest control programs ($p > 0.05$, t -test after transformation by $\log_{10}(x+1)$).

* Significantly different between pest control programs ($p < 0.05$, t -test after transformation by $\log_{10}(x+1)$).

Table 20. Effect of pest control program on injury to new shoots by sucking pests (*Scirtothrips dorsalis* and *Empoasca onukii*)

Condition of tea field	Pest species	Injury rate of new shoots (%)		
		Synthetic pyrethroid control		Conventional control
Covered area	<i>S. dorsalis</i>	21.0 (637) ^a	n.s. ^b	20.5 (625)
	<i>E. onukii</i>	0.8 (637)	*	3.7 (625)
Uncovered area	<i>S. dorsalis</i>	31.5 (804)	*	42.0 (861)
	<i>E. onukii</i>	1.2(804)	*	6.0 (861)

^a Number of new shoots observed.

^b Not significant between spray schedules (G -test: $p < 0.05$).

* Significantly different between spray schedules (G -test: $p < 0.05$).

76). また無防除では新葉の寄生葉率が50%で15~28%の減収となり(横山・谷浦, 1979), 経験的にもハダニの多発は収量に低下を起こすと認識されている. しかし本実験での新葉への加害程度では収量減少は見られなかった. これは, すべての調査区画の成葉と新葉両方でカブリダニが発生し, 新芽が伸長した6月16日以降はハダニ密度が急激に減少した結果(Fig. 14), ハダニによる累積的な加害量が新芽の生育を阻害するレベルに達しなかったために, 収量への影響が見られなかったのであろう. このように収量低下がおきる被害度指数は, 本研究でみられた値よりもはるかに大きいと考えられるので, ハダニの多発時の調査によって収量への影響がどの程度の被害度で発生するかを今後確認する必要がある.

前述したように, 新葉での被害葉率が20%以上で品質に低下が生じるとすれば, 被害葉の被害度がすべて1でも品質に低下が起きるといふ想定では被害度指数はわずか5であり, 被害度がすべて4で初めて品質に低下が生じるといふ緩い想定でも被害度指数は20にしかなら

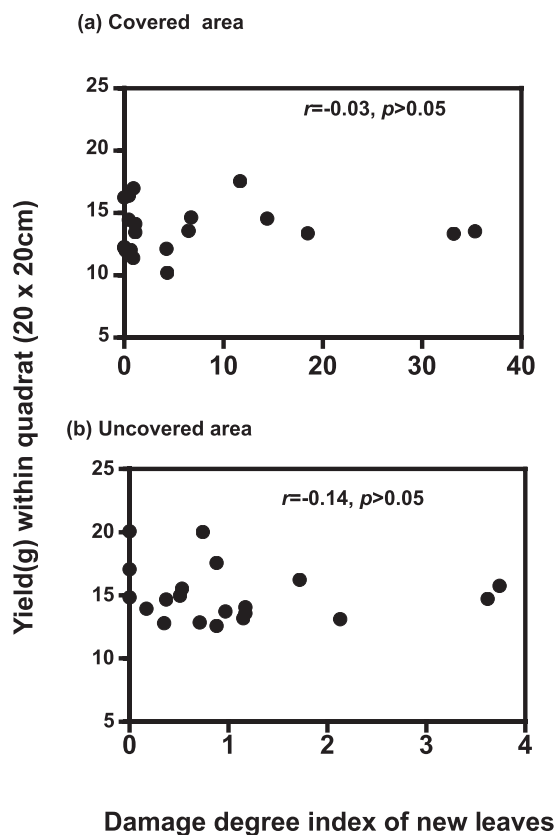


Fig. 19 Relationship between the damage degree index for new leaves on June 22 and yield within a quadrat (20 × 20cm) in each observation area on June 24, 1994, under covered area (a) and uncovered area (b).

ない. したがって品質面での被害許容水準は収量に被害が生じるよりもはるかに低い被害程度にあり, 収量が低下するような被害は現場では到底許容され得ないことが明らかになった.

e カンザワハダニの要防除水準

以上のように, 自然に発生したケナガカブリダニの働きだけでは, 新葉でのカンザワハダニの被害を完全にEIL以下に抑えるのは難しいため, カブリダニの活動を損なわない選択的作用を持つ殺ダニ剤散布が被害防止のために必要と判断される. その際, 残留と残臭の点で萌芽期以降の使用が可能な薬剤であっても, 茶の保健飲料としてのイメージ保持を考慮すれば, 萌芽時期前までの散布が強く望まれる. とりわけ萌芽前のカンザワハダニとケナガカブリダニ密度, そして新葉での被害程度との関係に基づいた要防除水準(CT)を設定できれば, 暦目的に行われて過剰になりやすい散布回数を削減できよう. 一般にCTは, 栽培条件を統一したうえで人為的な放飼等によって, 害虫密度と被害との関係を解析することで設定される. たとえば施設栽培の果菜類を加害するミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* KARNYでは, 放飼時密度とその後生じる被害との相関関係に基づいた詳細なCT設定が行われている(河合, 1986). しかし野外に植えられた永年性作物であるチャでは, 害虫の放飼による密度設定, そして栽培条件を統一した多数の茶園の確保は不可能である. ここでは次善の方法として, 40の各調査区画をそれぞれ異なる茶園と見なして解析した.

Fig. 20には萌芽時期直前(5月31日)の両種密度と摘採時期(6月22日)の新葉の被害率との関係を3

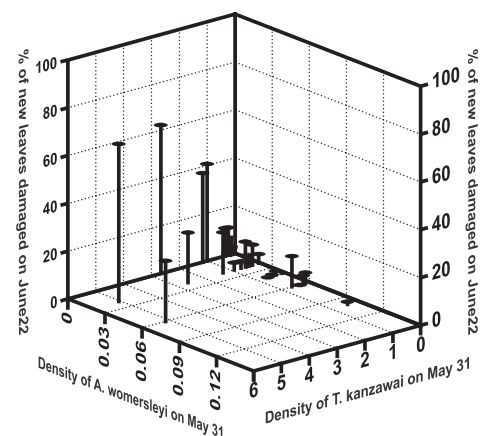


Fig. 20 Relationship of *T. kanzawai*, *A. womersleyi* density just before new bud sprouting on May 31 and damage to new leaves on June 22.

次元グラフで示した。萌芽時期直前のカンザワハダニ雌成虫密度が約 1.0 頭/葉以上になると、被害葉率は EIL (20%) に達していた。ケナガカブリダニはこの時点でも全区画の 1/4 で未発生であり、発生していた区画でも密度は最大でも 0.1 頭/葉に留まっていた。そこで各区画のハダニ密度を寄生葉率に直して被害との関連に着目すると、萌芽時期直前の成葉でのカンザワハダニ寄生葉率と摘採時の被害葉率との間には有意な正の相関関係 ($r=0.69$, $p<0.01$) が認められ (Fig. 21), この寄生葉率から被害葉率を推定できることが示唆された。

EIL である被害葉率 20% に対応する寄生葉率はほぼ 40% であり (Fig. 21), この値が萌芽時期直前での CT となる。ただし雌成虫の寄生葉率 40% は、現場の栽培者の感覚ではかなり高い寄生程度と思われる。しかもこの結果は「カブリダニがハダニを制御した」条件下で得られており、もしカブリダニの発生が少ないままであればハダニ制御力が十分働かず、当初の推定よりも被害は大きくなる。また品質評価基準が厳しくなれば、それに応じて CT も低くなり、補完的な殺ダニ剤散布の必要性が高くなる。従って実際の栽培現場では厳しいレベルを暫定的に用い、萌芽時期直前までの殺ダニ剤散布によってハダニ密度を極力低下させておく必要がある。このとき事前の影響評価を行って、カブリダニに悪影響を与えない殺ダニ剤の選択が重要である。さらにカブリダニなどの天敵類が極めて低密度なためにその効果が期待できない茶園では、この CT では緩やかすぎるとされる。また本研究では、新葉への薬剤付着を避けることを考慮し、萌芽時期直前を CT 設定時期としたが、現場ではよ

り早期の CT 設定が望まれる。その一方で早期の CT 設定は害虫密度上昇までの期間が長く、密度予測の不確実性が増加して設定そのものが意味をなさないと言われる (鈴木, 2000)。このように不確実な要素はあるが、時期がくれば殺ダニ剤を投入する従来の慣習を絶つための客観的根拠を示すことは害虫管理を進める上で極めて重要である (中筋, 1997)。今後、この密度あるいは寄生葉率が、萌芽時期直前での暫定的な CT となる。「二番茶萌芽時期直前の成葉のハダニ寄生葉率 40%」という CT の現場段階での妥当性について検討が望まれる。

なお萌芽時期直前ではケナガカブリダニの密度は低かったが、それでも両種を確認できた区画の密度比率 (x) と被害葉率 (y) (いずれも逆正弦変換) との間には有意な負の相関 ($r=-0.56$, $p<0.05$) が認められ (Fig. 22), 特にこの比率が 0.05 を上回る区画では被害葉率は EIL (20%) 以下になった。このような結果は、萌芽直前での両種の密度比率を元にして被害葉率を推定できることを示唆している。一方、個体群の密度が低くなれば、正確な密度推定のための必要サンプル数は増加する。久野 (1986) によれば、区画法における必要サンプル数 q_D は、基本集合度 α , 密度-集合度係数 β , 密度 m , 目標精度 D を用いると、

$$q_D = \frac{1}{D^2} \left(\frac{\alpha + 1}{m} + \beta - 1 \right)$$

で表現される。本研究でのケナガカブリダニの萌芽時期直前の最大密度 0.1 では、葉あたりの分布様式をランダム ($\alpha=0$, $\beta=1$) としても、一般的な動態研究での目標精度の目安である $D=0.2$ を確保するためのサンプル数は 250 枚にも達する。野外の生

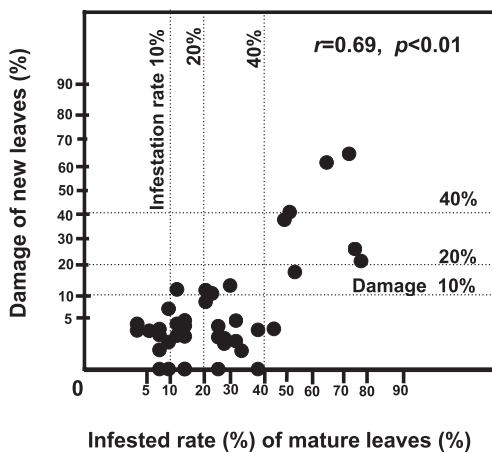


Fig. 21 Damage to new leaves on June 22 related to infestation of mature leaves by *T. kanzawai* just before new bud sprouting on May 31. Data were transformed by $\sin^{-1}\sqrt{x}$.

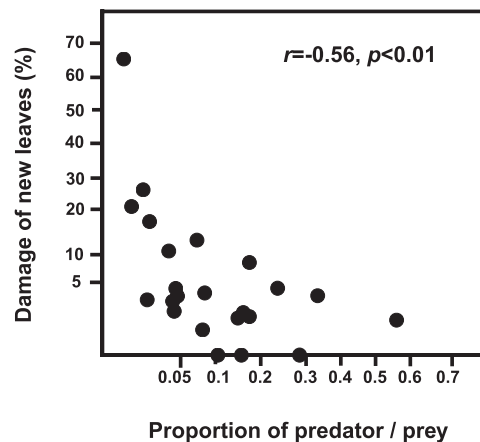


Fig. 22 Damage to new leaves on June 22 related to *A. womersleyi* / *T. kanzawai* density ratio just before new bud sprouting on May 31. Data were transformed by $\sin^{-1}\sqrt{x}$.

物個体群の分布は集中分布 ($\alpha > 0, \beta > 1$) になる場合が圧倒的であり、その場合この数はさらに増加する。このようにケナガカブリダニの正確な密度推定に必要な調査葉数は膨大なので、かかる労力を考慮すると、カブリダニ密度を指標にした防除要否の判断は難しい。

以上のようにここでは萌芽時期直前のハダニ寄生程度と被害程度との関係を明らかにして具体的な CT を提示した。これまでチャにおけるカンザワハダニの要防除水準については、1978年に農林水産省農林水産技術会議事務局によってまとめられた「害虫の総合防除（害虫の総合防除法策定委員会報告）」の中で、「EIL を全ステージでの寄生葉率 20%とした場合に、3月上旬の卵から成虫まで全発育ステージで一葉当たり密度が 0.1 以上、あるいは全発育ステージの寄生葉率が 2%を CT」とされている（農林水産技術会議事務局, 1978）。しかし本研究の結果はこの値とは大きく異なった。この原因は、委員会報告では一番茶を対象とし、また EIL として全ステージでの寄生葉率を用いているように、対象とする茶期と被害の把握方法が異なるためと推測される。EIL を例にすれば、本研究ではカブリダニの捕食によって摘採時点でのハダニ寄生密度がほぼ 0 になっても、新葉には明確な被害が残された。このような場合、前出した委員会報告での「寄生葉率」に基づく許容水準では被害を過小評価することになる。今後、カンザワハダニの CT と EIL に関しては、被害解析の段階からさらに検討を積み重ねる必要性が示唆される。

VII 総合考察

チャ害虫のなかでも被害許容水準が極めて低い新芽吸汁性害虫（河合, 1998）を低密度に抑え、またハマキガ類に対する選択的薬剤、性フェロモン、ウイルス利用等を補完するためには、合ピレ剤など非選択的薬剤の最低限の使用は避けられない。その一方でこれら非選択的薬剤がケナガカブリダニなど主要天敵を排除すれば、散布後にはカンザワハダニのリサージェンスが起き、殺ダニ剤の多用につながる。

本研究では、ハダニのリサージェンスを防ぎつつ、薬剤を併用してチャ害虫群を総合的に制御するためには、ケナガカブリダニの薬剤抵抗性系統の利用技術の確立が必須であると位置づけた。そこで合ピレ剤抵抗性を有する優良なケナガカブリダニ系統の選抜と特性解明を行い、合ピレ剤散布下でのカンザワハダニ制御効果の確認と分布拡大ならびに定着方法の検討をすすめる。最終的に実際

の茶園での実証試験までを段階的に行った。その過程では、本種と併用可能な薬剤の選定基準設定や初期密度上昇を目的とした放飼の必要性など、実用的利用を進める上での課題も浮かび上がった。

1 土着天敵ケナガカブリダニ優良系統の育種

天敵の利用にあたっては、その障害となる慣行防除薬剤に対する抵抗性系統作出に加え、その有効性をさらに高めるために増殖力や、休眠性など利用環境への適応力にもすぐれた系統が望まれる。薬剤抵抗性や生態的特性の変異が豊富であり、系統間の生殖的親和性も高いケナガカブリダニはこのような優良系統育種に適すると考えられる。

まず薬剤抵抗性系統の選抜では、合ピレ剤抵抗性を連続的な散布により人為的に高めることが可能であり、fenprothrin 感受性が低下した系統を得た。また抵抗性系統を探索する過程で種々の薬剤で個体群間の感受性変異や過去の薬剤散布歴を反映した抵抗性を確認できた。ケナガカブリダニの薬剤感受性は変異に富み、様々な抵抗性個体群の発生が茶園で予想される。また茶園以外にも、最近ではリンゴ園での個体群間に有機リン剤に対する感受性変異も報告され（佐々木ら, 1997）、新たな薬剤抵抗性系統選抜への取り組みも期待される。今後はできるだけ多くの薬剤と個体群間でこの感受性変異を調査し、有望とみられる系統には淘汰を加え、新たな抵抗性系統の選抜をはかるべきである。

次に生態的特性の面では、一定期間内の総産卵数を指標にした産卵能力に変異が見られ、多産系統選抜の可能性が示された。この変異のメカニズムは不明だが、実用上は多産系統が有利である。産卵能力を高めるためには、生存期間全般にわたり系統間で、産卵パターン、生存曲線、捕食量を比較することにより、増殖率に差を生じさせる要因を明らかにして選抜を試みる必要がある。さらに休眠性では、18°Cでは石垣島産の系統は休眠率 0%を示したが、それでも 15°Cでの休眠率は 50%を越えた。冬季の短日条件下での使用を考える場合には、18°Cより低温域でも非休眠性を示す系統の育成が必要である。

ところでケナガカブリダニに薬剤抵抗性系統が発見されて以来、落葉性果樹や施設栽培野菜類でのハダニ類の制御でもその利用が期待されている（浜村, 1986；中尾, 1992；森ら, 1993）。しかし落葉性果樹での利用場所として寒冷地の札幌を想定すると、平均気温 20°C、薄暮の 1 時間を加算した日長 13 時間以下になる 9 月中旬以降に土着個体群の休眠雌率は急激に上昇する（高橋

ら, 1979). 一方, 静岡では, 平均気温 18°C以下で日長 12 時間以下となる 10 月下旬まで卵や幼若虫が茶園で観察され, 両地点の土着個体群間では休眠誘起の光周反応が異なる. 従って温暖地のチャ由来の系統が寒冷地の果樹園に放飼されても, 適切な時期に休眠できずに低温に遭遇して越冬・定着ができないと推測される. また中緯度地域由来系統の休眠率は 20°Cでも約 65%と高いので, 秋から冬の施設栽培野菜に発生するハダニ類へ本種を放飼しても休眠誘起による活動低下が推測される. 実際, 温室内イチゴに発生したハダニ類へ茶園由来のケナガカブリダニを晩秋に放飼しても翌春まで活動がみられない(多々良 私信).

このように茶園由来の系統をそのまま用いても活動阻害要因があるので, 本種の利用をチャ以外の作物に拡大するためには, 利用する栽培環境に合致した休眠特性と薬剤抵抗性を備えた系統が必要である. 例えば施設栽培での利用には, 薬剤の使用も考慮し, 非休眠系統と薬剤抵抗性系統を組み合わせた系統が望ましいであろう. 今後はこのような新系統の育成と, それらを用いたチャ以外の作物, 栽培環境でのハダニ類制御の実証が課題である.

2 薬剤抵抗性ケナガカブリダニの分布拡大

網室内の小規模な茶園への合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニの放飼実験と, 抵抗性ケナガカブリダニが定着した野外茶園でのカンザワハダニとケナガカブリダニの動態調査により, 抵抗性ケナガカブリダニによるリサージェンス防止効果を確認した. しかし実際の栽培現場を想定すれば, ヘクター単位で抵抗性系統の分布拡大と定着が必要となろう.

まず分布拡大の手段として, 大量増殖した抵抗性系統の未分布茶園への放飼が考えられる. 第V章でハダニ制御を実証した放飼実験での放飼個体数は 10 アールあたり 40,000 であったので, ヘクターあたりでの必要個体数は 400,000 にも達する. ケナガカブリダニではこのような多数個体の増殖は行われたことはないが, 北米のオキシデンタリスカブリダニでは 100ha 以上のアーモンド園に放飼するために 2000m²に密植したダイズに寄生したナミハダニを餌としておおよそ 6200 万個体という多数の個体を確保している (HOYら, 1982). 今後, このような事例を参考にして, ケナガカブリダニでも安定的な大量増殖技術を開発し, 早急な分布拡大を可能にする技術の確立が必要である.

一方本研究では小規模茶園への合ピレ剤連続散布により抵抗性ケナガカブリダニを得ることができたので (第

III章), 大量増殖した個体の放飼に代わる分布拡大の手法として, まず数 100m²程度の茶園を抵抗性個体群の分散拠点として確保し, その後に自然分散や高密度時に採集した個体を人為的に分散して徐々に分布拡大をはかる手段が考えられる. 滋賀県の茶園では, 6 月上旬に畝端の 1.8m²に放飼された 1500 個体 (放飼のステージは不明) の本種が, 畝方向へは 4 週間で 25m 移動して畝全体に分布が拡大し, また隣接する畝や茶園への移動も同じ時期に観察されている (西野, 1994). また 6 月の北米のリンゴ園に放飼された薬剤抵抗性オキシデンタリスカブリダニは, 3 ヶ月後に放飼点から 300m 離れた地点で採集された個体群にも放飼個体と同等の薬剤抵抗性が確認されている. これは風による自然分散の結果とされている (HOY, 1982). したがって分散拠点となるチャ園を設けることが分布拡大をする上で有効であろう. このときの拡大状況を把握するのに, 採集, 増殖, 薬剤感受性検定の手順では時間がかかる. アイソザイムパターン等により抵抗性個体群を即時に判断できる簡易な手法 (DUNLEYら, 1990; WHALONら, 1982) が有効と考えられる. また抵抗性遺伝子の検出技術も将来的な検討課題となろう.

次に抵抗性個体群の分布拡大ができた場合, その定着を引き続いてはかるためには, その個体群に安定的な合ピレ剤抵抗性を維持する必要がある. この際, 抵抗性が土着個体群との交雑によって, どのように変化するかは薬剤抵抗性の遺伝様式と関係する. 本研究で用いた SEL10 系統は合ピレ剤抵抗性に加えて有機リン剤, カーバメイト剤抵抗性でもある. 浜村 (1986) は本種の有機リン剤・カーバメイト剤抵抗性の遺伝様式は, 完全優性ないしは不完全優性であるため, この抵抗性個体が放飼されて感受性個体と交雑しても抵抗性が簡単には消失しないので, これら薬剤の抵抗性は接種的な放飼と人為的な分散を行っていく上で有利としている.

一方, 合ピレ剤抵抗性は, 感受性個体との交雑によって, その強さが LC₅₀で約 1/10 に低下した. その他のカブリダニ類でも合ピレ剤抵抗性は単一遺伝子支配とはならない報告がほとんどである (HOYら, 1981; CROFTら, 1983; MARKWICK, 1994; THISTLEWOODら, 1995). 北米のリンゴ園では, 合ピレ剤抵抗性オキシデンタリスカブリダニの放飼時期をはさんだ 5 月と 6 月末に合ピレ剤散布を行い, 土着の感受性系統の排除と抵抗性系統の定着を促進して, 9 月には抵抗性系統の定着を確認したが, 事前に土着系統を合ピレ剤により排除しない区画では放飼個体群の定着を確認できなかった (HOYら, 1983).

その原因は、薬剤散布前までに周囲から侵入していた多数の感受性個体群と、放飼された抵抗性系統が交雑して抵抗性が消失したためと推測された。以上をふまえると、茶園のケナガカブリダニに合ピレ剤抵抗性系統を定着させ、維持していく過程では、防除体系への合ピレ剤の組み込みが必要と考えられる。

3 チャ害虫総合管理におけるケナガカブリダニ利用

チャ害虫の総合的管理において薬剤抵抗性ケナガカブリダニを効果的に利用するためには、まずカブリダニ個体群に合ピレ剤等できるだけ多くの種類の薬剤抵抗性を高レベルに維持する必要がある。合ピレ剤抵抗性系統が定着しつつある茶園では、防除体系に合ピレ剤を組み込むことで周囲から移入する感受性個体群を排除して交雑による抵抗性の低下を防がねばならない。1991～92年に薬剤連続散布を行って合ピレ剤抵抗性個体群の発生を確認した試験茶園では、その後は部分的な合ピレ剤散布を1993年に一度行っただけだが、実用濃度で生存可能な合ピレ剤抵抗性個体群が1994年になっても発生した(Table 4)。このように年に一度程度の合ピレ剤利用を行うことで高い抵抗性レベルを維持できると推測される。合ピレ剤利用の時期は、もし感受性個体が増加していれば一時的なカンザワハダニ多発生の可能性もあるので、生産物として重要な新葉の摘採が終わった夏から秋が適当と思われる。

一方、静岡県東部の茶園のように合ピレ剤抵抗性個体群が実際の栽培現場ですでに発生している場合には、必要以上の合ピレ剤散布がかえって害虫に合ピレ剤抵抗性発達を起すおそれがあるので、利用頻度を害虫の抵抗性発達を招かない範囲内に抑える必要がある。北米のリンゴ園での害虫管理では、主要害虫コドリシガ *Cydia pomonella* やハダニ類の薬剤抵抗性発達を抑えるため、①各害虫の薬剤感受性モニタリングによる抵抗性発達の早期把握、②最小限の選択的薬剤と生物防除の組み合わせによる抵抗性発達抑制、③薬剤抵抗性天敵の活用が重要であり、天敵を含む薬剤抵抗性管理 (PRM: Pesticide Resistance Management) に基づく防除体系がとられている (PREE, 1990)。今後はチャでも害虫に加えケナガカブリダニの薬剤抵抗性管理を念頭に入れた防除体系の策定と実証が必要である。

本研究におけるケナガカブリダニによるカンザワハダニの密度と被害制御の実態 (Fig. 13 および 14) は、カブリダニの初期密度やハダニとの密度比率が低い場合には、カブリダニの放飼がハダニ制御に有効なことも示唆

している。そこでケナガカブリダニの活動適温は20°C以上である (浜村, 1986) ことを考慮し、二番茶期以降のハダニ被害制御のためのケナガカブリダニ放飼の可能性を以下に考察した。

二番茶時期のケナガカブリダニの発生状況は年により異なり、静岡県の無防除茶園では5月末から発生したケナガカブリダニがカンザワハダニを制御する時がある一方で、6月になってもカブリダニが見られずハダニが多発することも報告されている (浜村, 1986)。また鹿児島県での茶園の3年間にわたる継続調査では、ケナガカブリダニの初発生時期は3月下旬から6月上旬まで広くばらついた (西ら, 1996)。これらからケナガカブリダニの発生開始時期を早め、カンザワハダニ密度が高まる二番茶の萌芽時期直前には必ずカブリダニが生息するように、早期に放飼することが被害制御効果の発揮につながると期待される。

第V章で明らかにしたように、カンザワハダニが増加し始める6月上旬に、網室内の10m²の茶園へ400頭のケナガカブリダニを放飼し、約40日間でハダニを制御することができた。また磯部ら (2001) も、茶園への薬剤抵抗性ケナガカブリダニの定着を目的として、10aという小面積ながら、一葉あたりハダニ密度が約0.5に達した6月に約5000頭のカブリダニを放飼した。その結果、その後の無放飼の慣行防除区に比べ、ハダニの寄生葉の最高値が1/4に低下したことで、合ピレ剤散布後のカブリダニ生息確認をもとに、このような放飼による定着が成功したことを示している。しかし、いずれの例でも、1ヘクタール程度の小規模茶園にあてはめた場合の必要放飼数は50,000～400,000頭にも達する。ケナガカブリダニの大量増殖に関する研究も最近開始されているとはいえ (青砥, 1999; 里見ら, 1998)、このような個体数を供給する態勢には至っていない。したがって今後、放飼利用の実用化のためには、より低密度でのカブリダニの放飼を継続した場合に抵抗性カブリダニの定着や、ハダニの被害発生防止がおきるかを明らかにする必要がある。

最後に、カンザワハダニがこれまで多発してきた原因には、殺ダニ剤への抵抗性発達や非選択性の農薬による天敵排除といった要因に加え、現在の茶栽培面積の約75%を占める主要品種‘やぶきた’がハダニ密度の高まりやすい品種群に属することや、極端な多肥栽培も関与している。したがって天敵や薬剤等の防除技術の高度化だけでなく、栽培体系全体を見直してカンザワハダニ制御をはかる必要もある。なかでもカンザワハダニの寄生密

度には明らかな品種間差があるので(刑部, 1967a; 河合, 2000), 異なる品種間でケナガカブリダニによるハダニ制御能力に差異が生じると考えられ, その実態と機構を解明する研究が今後必要である。

摘 要

茶園では複数種の害虫が同時に発生し, 薬剤以外の防除手段の開発状況も種により差があるため, 薬剤と天敵利用を調和させて薬剤使用量を削減する害虫総合管理が必要である。ハダニ類の捕食性天敵ケナガカブリダニはチャの重要害虫カンザワハダニに対する有力な土着天敵である。静岡県の茶園では1970年代末頃からこのカブリダニに有機リン剤とカーバメイト剤抵抗性個体群が発生したため, これら薬剤による防除体系下では, 抵抗性ケナガカブリダニの自然制御によりカンザワハダニの発生が沈静化していた。しかし1980年代後半に入り, 新芽吸汁性害虫に対して合成ピレスロイド剤(以下合ピレ剤)が新たに使用された茶園では, ケナガカブリダニはこれらの薬剤に抵抗性を持たないために著しく減少し, それに伴いカンザワハダニの異常多発(リサージェンス)が頻発した。この問題を解決するための殺ダニ剤使用は新たな抵抗性問題につながるだけでなく, 健康飲料としての茶のイメージも損ないかねないため, 殺ダニ剤に依存しないリサージェンス対策が強く求められるようになった。

そこで本研究では, まず合ピレ剤抵抗性を示す新たなケナガカブリダニ系統を探索, 選抜して生理生態的特性の解明を行った。次に, この合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニを防除体系に組み入れたカンザワハダニに対する生物的防除と化学的防除を統合してチャ害虫群の総合管理を行うため, ケナガカブリダニの利用と合ピレ剤散布を併用したチャ害虫群の同時制御を実証した。得られた主要な成果は以下のとおりである。

1) 各地の茶園・果樹園等から採集したケナガカブリダニの合ピレ剤 permethrin 感受性を調査した。合ピレ剤使用頻度が高かった静岡県東部の数カ所の茶園から感受性が低下した個体群を発見し, その中には合ピレ剤感受性が著しく低く実用濃度でも生存可能な抵抗性個体群が含まれていた。また小規模な茶園へ連続的に合ピレ剤散布を行うことによって薬剤抵抗性個体群が作出されることを示した。

2) 選抜した合ピレ剤抵抗性個体群の一つに対し, 室内条件で permethrin による淘汰を加えても抵抗性レベル

はあまり高まらず, 抵抗性の発達程度が野外でも高いレベルにあると推測された。この系統(SEL10系統)は有機リン剤とカーバメイト剤にも強い抵抗性を示し, 薬剤との併用をはかるうえで有望な素材であった。さらに各地の在来系統を含めて本種の生態的特性を比較した結果, 休眠性や産卵能力に顕著な系統間差異がある一方で, 系統間の生殖的隔離はみとめられず, 系統間交雑と選抜により栽培環境に適した有用系統を育種できることが示唆された。また合ピレ剤抵抗性は隔離条件下の累代飼育では長期間安定したが, 感受性系統との交雑により生じる次世代で感受性が回復するので, 野外においてケナガカブリダニ個体群の合ピレ剤抵抗性を維持するためには防除体系に最小限の合ピレ剤使用が必要と考えられた。

3) 鉢植え茶樹および網室内の茶園に, 合ピレ剤抵抗性ケナガカブリダニを放飼すると, 実用濃度の permethrin 散布下でもカンザワハダニの制御と新葉への被害軽減効果を確認できた。実際のチャ害虫の防除体系ではこの働きを発揮させることが重要で, ケナガカブリダニに対する悪影響が少ない薬剤を選択する必要がある。そこでこの系統を用い, チャに使用登録がある薬剤について実用濃度での雌成虫および発育への影響を室内で調査した。その結果から, 厚い葉層がある通常の茶園では, 雌成虫死亡率が80%以下にとどまった大部分の薬剤は抵抗性系統への悪影響がないと考えられた。しかし中切り更新直後で葉層が極端に薄い茶園では, 薬剤がカブリダニへ直接付着しやすくなるので, 死亡率が100%近くに達した一部の有機リン剤等の使用は避ける必要があると考えられた。

4) 合ピレ剤抵抗性系統を定着させた試験茶園に設けた合ピレ剤区と慣行薬剤(有機リン剤・ネライストキシン剤)区間で, カンザワハダニとケナガカブリダニ, および新芽吸汁性害虫の発生活長を二番茶期に比較した。合ピレ剤区では, 散布直後でもケナガカブリダニ密度が上昇し, その発生活長パターンは慣行薬剤区と変わらぬ傾向を示した。そして萌芽期直前にハダニ密度が高くカブリダニ密度が低かった一部分では, 摘採時期になると被害葉率が許容水準を大きく上回ったものの, それ以外の大部分では被害は軽微に抑制された。さらに新芽吸汁性害虫は発生密度と被害芽率は, ともに合ピレ剤区において慣行薬剤区よりも低く抑制された。

5) ケナガカブリダニがカンザワハダニの発生を抑制した上記の茶園で, 両種の発生状況と摘採時点での被害葉率との関係を解析すると, カブリダニ雌成虫のピーク時密度が高いほど被害葉率が低く抑制される傾向がみられ

た。また萌芽時期直前の成葉でのカンザワハダニ雌成虫密度が高いほど被害葉率が高まるので、萌芽時期直前でのハダニ寄生葉率が40%を超える場合には、ケナガカブリダニに悪影響を与えない殺ダニ剤による補完的防除が必要と考えられた。なお萌芽時期直前ではケナガカブリダニが低密度であり、その後の発生量を予測できないため、実用的な要防除水準はここで示した40%よりも厳しいと示唆された。この萌芽時期直前でのケナガカブリダニの発生を確実にして制御効果を発揮させるには、初期密度上昇をはかる春先での放飼が必要と考えられた。

引用文献

- 1) 青砥 勇 (1999) 国産生物農薬の開発と利用. 蚕糸昆虫研資料 25: 114-118.
- 2) 浅田三津男 (1989) 殺ダニ剤開発の現状と展望. 植物防疫43: 603-608.
- 3) BANERJEE, B. 1987, Can leaf aspect affect herbivory? A case study with tea. *Ecology* 68: 839-843.
- 4) CHANT, D. A. (1985) Systematics and morphology. In: *Spider mites, their biology, natural enemies and control* Vol. 1B (W. Helle and M. W. SABELIS eds.). Elsevier, Amsterdam, p. 3.
- 5) CROFT, B. A. (1970) Comparative studies on four strains of *Typhlodromus occidentalis*. I Hybridization and reproductive isolation studies. *Ann. Entomol. Soc. Amer.* 63: 1558-1563.
- 6) CROFT, B. A. and A. W. A. BROWN (1975) Response of arthropod natural enemies to insecticides. *Ann. Rev. Entomol.* 20: 285-335.
- 7) CROFT, B. A. and J. A. MCMURTRY (1972) Minimum releases of *Typhlodromus occidentalis* to control *Tetranychus mcdanieli* on apple. *J. Econ. Entomol.* 65: 188-191.
- 8) CROFT, B. A. and M. E. WHALON (1983) Inheritance and persistence of permethrin resistance in the predatory mites, *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiida e). *Environ. Entomol.* 12: 215-218.
- 9) CROFT, B. A., S. W. WAGNER and J. G. SCOTT (1983) Multiple- and Cross-resistances to insecticides in pyrethroid-resistant strains of the predatory mite, *Amblyseius fallacis*. *Environ. Entomol.* 11: 161-164.
- 10) CROFT, B. A. and H. E. VAN de BAAN (1988) Ecological and Genetic factors influencing evolution of pesticide resistance in tetranychid and phytoseiid mites. *Exp. Appl. Acarol.* 4: 277-300.
- 11) DEBACH, P. and D. ROSEN (1990) Pests, pesticides and biological control. In: *Biological control by natural enemies (second edition)* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 1-34.
- 12) DUNLEY, J. E. and B. A. CROFT (1990) Gene flow measured by allozymic analysis in pesticide resistant *Typhlodromus pyri* occurring within and near apple orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 18: 201-211.
- 13) 江原昭三・天野 洋 (1993) 4. ケナガカブリダニ, 日本原色植物ダニ図鑑 (江原昭三 編), 東京: 全国農村教育協会, pp. 8-9.
- 14) EHARA, S. (1999) Revision of the spider mite family Tetranychidae of Japan (Acari, Prostigmata). *Species Diversity* 4: 63-141.
- 15) GEORGHIOU, G.P. and C.E. TAYLOR (1977) Operational influences in the evolution of insecticide resistance. *J. Econ. Entomol.* 70: 653-658.
- 16) 浜村徹三 (1985) チャに寄生するカンザワハダニの水酸化トリシクロヘキスルスズ剤 (プリクトラン) に対する抵抗性発達の地域差. 茶研報 62: 46-51.
- 17) 浜村徹三 (1986) 薬剤抵抗性ケナガカブリダニによる茶園のカンザワハダニの生物的防除に関する研究. 茶試研報 21: 121-201.
- 18) 浜村徹三 (1991) ケナガカブリダニ. 昆虫の飼育法 (湯島健・釜野静也・玉木佳男 共編), 東京: 日本植物防疫協会, pp. 380-381.
- 19) HOY, M.A. (1975) Effect of temperature and photoperiod on the induction of diapause in the mite *Metaseiulus occidentalis*. *J. Insect Physiol.* 21: 605-611.
- 20) HOY, M. A. (1982) Aerial dispersal and field efficacy of a genetically improved strains of the spider mite predator *Metaseiulus occidentalis*. *Ent. Exp. Appl.* 32: 205-212.
- 21) HOY, M. A. (1985) Recent advances in genetics and genetic improvement of the Phytoseiidae. *Ann. Rev. Entomol.* 30: 345-370.
- 22) HOY, M. A. and N. F. KNOP (1981) Selection for and genetic analysis of permethrin resistance in *Metaseiulus occidentalis*: Genetic improvement of a biological control agent. *Ent. Exp. Appl.* 30: 10-18.
- 23) HOY, M. A., D. CASTRO and D. CAHN (1982) Two methods for large scale production of pesticide-resistant strains of the spider mite predator *Metaseiulus occidentalis* (Nesbitt) (Acarina, Phytoseiidae) *Z. Ang. Ent.* 94: 1-9.
- 24) HOY, M. A., P. H. WESTIGARD and S. C. HOYT (1983) Release and Evaluation of a laboratory-selected, pyrethroid resistant strain of the predacious mite *Metaseiulus occidentalis* (Acari: Phytoseiidae) in southern Oregon pear orchards and a Washington apple orchard. *J. Econ. Entomol.* 76: 383-388.
- 25) HOYT, S. C. (1969) Integrated chemical control of insects and biological control of mites on apple in Washington. *J. Econ. Entomol.* 62: 74-86.
- 26) 稲木浩之・向笠芳郎 (1976) 各種ノズルによる散布薬剤の茶葉面への付着状況. 静岡茶試研報 7: 59-69.
- 27) 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.
- 28) 井上晃一・刑部正博・芦原 亘 (1987) カンキツ園および施設栽培ブドウ園における薬剤抵抗性カブリダニ類の探索. 応動昆 31: 398-403.
- 29) 磯部宏治・松ヶ谷祐二 (2001) 茶病害虫の総合防除体系の確立 第1報 薬剤抵抗性ケナガカブリダニ放飼によるカンザワハダニの生物的防除. 三重農技研報 28: 23-27.
- 30) 伊藤善文 (1990) 静岡県におけるチャ病害虫防除の現状と問題点. 植物防疫 44: 423-426.
- 31) 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: 83-82.
- 32) 河合 章 (1986) ミナミキイロアザミウマの個体群動態及び個体群管理に関する研究. 野菜試報 C9: 69-135.

- 33) 河合 章 (1988) オンシツツヤコバチに対する殺虫剤および殺菌剤の影響. 野菜茶試研報 D1: 59-67.
- 34) 河合 章 (1998) チャノキイロアザミウマ・チャノミドリヒメヨコバイの密度と茶新芽の被害. 平成9年度野菜茶業研究成果情報. 61-62.
- 35) 河合 章 (2000) カンザワハダニの寄生におけるチャの品種間差. 茶研報 88. 67-77.
- 36) KAWAI, A., K. KOHATA and Y. YAMAGUCHI (1999) Deposition of chemicals on various parts of tea bushes sprayed on plucking surface. *Appl. Entomol. Zool.* 34: 387-389.
- 37) KISHIMOTO, H. and A. TAKAFUJI (1994) Variations in the diapause characteristics of *Amblyseius womersleyi* SCHICHA (Acari: Phytoseiidae) *J. Acarol. Soc. Jpn.* 3: 59-67.
- 38) KISHIMOTO, H. and A. TAKAFUJI (1997) Variations in the life history parameters among populations of *Amblyseius womersleyi* SCHICHA with different diapause characteristics (Acari: Phytoseiidae) *Appl. Entomol. Zool.* 32: 395-401.
- 39) KODOMARI, S. (1988) Resurgence of the synthetic pyrethroids on Kanzawa spider mite and Tea tortricids. *Proceedings of the international symposium on recent development in tea production.* pp. 161-169.
- 40) 小杉由紀夫 (1997) 静岡県におけるチャハマキのキチン合成阻害剤に対する抵抗性実態とその対策. 平成8年度関東東海農業研究成果情報: 157-158.
- 41) 久野英二 (1986) 動物の個体群動態研究法 I - 個体数推定法 -. 共立出版, 東京. 144pp.
- 42) MARKWICK, N. P. (1994) Genetic analysis of the resistance of two strains of *Thyphlodromus pyri* to synthetic pyrethroid insecticide. In: *Application of genetics to arthropods of biological control significance* (NARANG, S. K., BARTLETT, A. C. and R. M. FAUST, eds). CRC press, Boca Raton, pp. 107-120.
- 43) 松山康甫・長友 繁 (1987) 茶園防除機の開発研究 (クワシロカイガラムシ). 鹿児島県茶試研報 3: 1-16.
- 44) 南川仁博・刑部 勝 (1979) 茶樹の害虫. 東京: 日本植物防疫協会, 322p.
- 45) MOREWOOD, W. D. and L. A. GILKESON (1991) Diapause induction in the thrips predator *Amblyseius cucumeris* (Acarina: Phytoseiidae) under greenhouse conditions. *Entomophaga* 36: 253-263.
- 46) 森 樊須・齋藤 裕・古橋嘉一・中尾弘志・芦原亘 (1993) 天敵農薬-チリカブリダニその生態と応用- (森樊須編). 東京: 日本植物防疫協会, 130p.
- 47) MORI, H. and Y. SAITO (1979) Biological control of *Tetranychus urticae* KOCH (Acarina: Tetranychidae) populations by three species of phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae) *J. Fac. Agr. Hokkaido Univ.* 59: 303-311.
- 48) 森 樊須・真梶徳純 (1977) チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除 (森 樊須・真梶徳純編). 東京: 日本植物防疫協会, 89p.
- 49) 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の薬剤散布との関係. 愛媛県果試研報 4: 43-55.
- 50) 長友 繁・當 直樹・鬼丸照雄・野中寿之 (1991) ケナガカブリダニ利用によるチャのカンザワハダニの防除技術. 鹿児島県茶試研報 7: 1-76.
- 51) 中川智之 (1984) ケナガカブリダニの発育と捕食量. 九病虫研会報 30: 158-161.
- 52) 中川智之 (1989) 茶園におけるケナガカブリダニに対する殺虫剤の影響. 九病虫研会報 35: 160-164.
- 53) 中川智之 (1990) 茶園におけるケナガカブリダニに対する殺菌剤・殺虫剤の影響. 九病虫研会報 36: 150-154.
- 54) 中川智之 (1993) 茶園におけるカンザワハダニの天敵類の発生生態とハダニ制御に関する研究. 佐賀県茶試研報 1: 1-40.
- 55) 中尾弘志 (1987) 薬剤散布環境下における薬剤抵抗性カブリダニによるハダニの生物的防除. I. 西ドイツ系チリカブリダニによる防除試験およびそのシミュレーション. 応動昆 31: 359-368.
- 56) 中尾弘志 (1992) 薬剤抵抗性チリカブリダニ (DAS系統) 利用による施設野菜ハダニ類の生物的防除に関する研究. 北海道立農試報告 78: 1-75.
- 57) 中筋房夫 (1997) 総合的害虫管理学. 東京: 養賢堂, 273pp.
- 58) 西 八東・松比良邦彦. 神寄保成. 長友 繁 (1996) 顆粒病ウイルスとケナガカブリダニの保護・利用防除体系. 鹿児島県茶試研報 11: 11-48.
- 59) 西野英治 (1994) 茶園に放飼した薬剤抵抗性ケナガカブリダニの分散と定着. 平成5年度近畿中国農業研究成果情報: 301-302.
- 60) 野中寿之. 西 八東・長友 繁・當 直樹・鬼丸照雄 (1994) 顆粒病ウイルス利用によるチャのハマキムシ類防除 - 実証防除効果の事例とその解析 -. 鹿児島県茶試研報 10: 1-42.
- 61) OKANO, K., S. KOMAKI, K. MATSUO., D. HIROSE and J. TATSUMI (1995) Analysis of canopy photosynthesis in mature tea (*Camellia sinensis* L.) bush at late autumn. *Jpn. J. Crop Sci.* 64: 310-316.
- 62) 鬼丸照雄 (1976) カンザワハダニの被害解析に関する研究 (第1報) 加害が茶樹幼木の生育に及ぼす影響. 九病虫研会報 22: 80-82.
- 63) 鬼丸照雄 (1979) ハダニ類の発生予察方法確立に関する特殊調査 IVチャのハダニ 5. カンザワハダニの茶収量および製茶品質に及ぼす影響. 農作物有害動物発生予察特別報告第31号. 農林水産省, 東京, pp. 151-155.
- 64) 大泰司 誠 (1988) 生理活性物質による害虫の管理-茶園における性フェロモンの利用- 植物防疫 42: 27-30.
- 65) 刑部 勝 (1967a) カンザワハダニの生態学的研究 茶試研報 4: 35-156.
- 66) 刑部 勝 (1967b) フェンカプトンならびにエストックスに対する抵抗性カンザワハダニの発現. 茶技研 34: 33-37.
- 67) 刑部 勝 (1968) カンザワハダニの薬剤抵抗性に関する研究 第2報. わが国の主要茶産地におけるフェンカプトン, エストックスならびにケルセンに対する抵抗性. 応動昆 12: 18-22.
- 68) 刑部 勝 (1975) 野外作物へのチリカブリダニの放飼 7. チャ, チリカブリダニによるハダニ類の生物的防除 (森樊須・真梶徳純編). 東京: 日本植物防疫協会, pp84-86.
- 69) 小澤朗人 (1994) 静岡県中遠・小笠地区におけるチャ寄生カンザワハダニの薬剤感受性. 茶研報 79: 1-14.
- 70) OVERMEER, W. P. J. and A. Q. VAN ZON (1983) The effect of different kinds of food on the induction of diapause in the predacious mite *Amblyseius potentillae*. *Ent. Exp. Appl.* 33: 27-30.
- 71) PREE, D. J. (1990) Resistance management in multiple-pest apple orchard ecosystem in eastern north America, In: *Pesticide resistance in arthropods* (R. T. ROUSH and B. E. TABASHNIK eds.). Chapman and Hall,

- New York and London, pp261-276.
- 72) RIPPER, W. E. (1956) Effects of pesticides on balance of arthropod populations. *Ann. Rev. Entomol.* 1: 403-438.
- 73) 齋藤 裕・森 樊須 (1975) 3種のカブリダニの発育と産卵に及ぼす交替餌としての花粉の効果. 北大農邦紀 9: 236-246.
- 74) SAITO, Y. and H. MORI (1981) Parameters related to potential rate of population increase of three predatory mites in Japan (Acarina: Phytoseiidae). *Appl. Entomol. Zool.* 16: 45-47.
- 75) 佐々木正剛・佐藤力郎 (1997) 福島県における主要殺虫剤および殺ダニ剤に対するケナガカブリダニ地域個体群の感受性. 北日本病虫研報 48: 192-195.
- 76) 澤崎 肇・高城親義 (1989) カンザワハダニの薬剤抵抗性対策. 京都府立茶業研究所研究報告 20: 7-15.
- 77) 里見 純・青砥 勇・山下慶晃 (1998) 捕食性ダニ類の商品化と施設微小害虫の防除. 農林水産技術研究ジャーナル21: 38-41.
- 78) SEKITA, N. (1985) Toxicity of pesticides commonly used in Japanese apple orchards to the predatory mite *Thyphlodromus pyri* SCHEUTEN (Acari: Phytoseiidae) from New Zealand. *Appl. Entomol. Zool.* 21: 173-175.
- 79) 真梶徳純・足立年一 (1978) ケナガカブリダニに対する農薬の影響. 果樹試報 E2: 99-108.
- 80) 真梶徳純・本山直樹・天野 洋 (1986) ナシ園における薬剤抵抗性カブリダニ類の検索. 薬剤抵抗性カブリダニ類の検索とハダニ類の生物的防除への利用 (昭和60年度科学研究費補助金研究成果報告書): 18-23.
- 81) STONE, B. F. (1968) A formula for determining degree of dominance in cases of monofactorial inheritance of resistance to chemicals. *Bull. WHO*, 38: 325-326
- 82) STRICKLER, K. and B. A. CROFT (1981) Variation in permethrin and azinphosmethyl resistance in population of *Amblyseius fallacis* (Acarina: Phytoseiidae). *Environ. Entomol.* 10: 233-236.
- 83) STRICKLER, K. and B. A. CROFT (1982) Selection for permethrin resistance in the predatory mite *Amblyseius fallacis*. *Entomol. Exp. Appl.* 31: 339-345.
- 84) 鈴木芳人 (2000) IPM 理念の抜本的見直し 植物防疫 54: 217-221.
- 85) 高橋 淳 (1999) がんばれ天敵! 茶園に棲むカブリダニ. 茶業技術 42: 44-48.
- 86) 高橋健一・森 樊須 (1979) ケナガカブリダニ *Amblyseius longispinosus* (EVANS) の越冬生態に関する研究. 北大農邦紀 11: 258-264.
- 87) 高木一夫 (1974) 茶園の寄生蜂のモニタリング. 茶試研報 10: 91-127.
- 88) 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 Res. Stn., Japan*, D1: 49-67.
- 89) THISTLEWOOD, H. M. A., D. J. PREE and L. A. CRAWFORD (1995) Selection and genetic analysis of permethrin resistance in *Amblyseius fallacis* (GARMAN) (Acari: Phytoseiidae) from Ontario apple orchards. *Exp. Appl. Acarol.* 19: 707-721.
- 90) 氏家 武・菅原寛夫 (1970) リンゴ園の害虫相に関する研究 第2報 ハダニ類とその捕食虫の関係. 園試報 C6: 21-36.
- 91) 内田正人 (1986) ナシ園における薬剤抵抗性カブリダニ類の検索とカブリダニに対する薬剤散布の影響. 薬剤抵抗性カブリダニ類の検索とハダニ類の生物的防除への利用 (昭和60年度科学研究費補助金研究成果報告書): 26-27.
- 92) 打土井利春・森 雄三・朝比奈一也 (1994) 静岡県におけるチャハマキのベンゾイルフェニル尿素系殺虫剤に対する感受性低下. 関東病虫研報 41: 261-263.
- 93) Van de KLASHORST, G., J. L. READSHAW, M. W. SABELIS and R. LINGEMAN (1992) A demonstration of asynchronous local cycles in an acarine predator prey system. *Ent. Exp. Appl.* 14: 186-198
- 94) VEERMAN, A. (1992) Diapause in phytoseiid mites "a review". *Exp. Appl. Acarol.* 14: 1-60.
- 95) WHALON M. E., B. A. CROFT and T. M. MOWRY (1982) Introduction and survival of susceptible and pyrethroid-resistant strains of *Amblyseius fallacis* (Acari: Phytoseiidae) in a Michigan apple orchard. *Environ. Entomol.* 11: 1096-1099.
- 96) 山本敦司 (1998) ハダニ類の殺ダニ剤抵抗性管理にける問題点. 植物防疫 52: 215-218.
- 97) 横山俊祐・谷浦啓一 (1979) カンザワハダニの寄生葉率と茶芽および収量との関係. 農作物有害動物発生予察特別報告第31号. 農林水産省, 東京, pp. 143-144.
- 98) 農林水産技術会議事務局 (1978) E: 茶害虫. 害虫の総合防除 (害虫の総合防除法策定委員会報告). 農林水産省, 東京, pp. 68-75.
- 99) 農林水産省統計情報部 (2000) 6. 工芸農作物. 平成11年産作物統計 (普通作物・飼料作物・工芸農作物). pp. 36-38.
- 100) 静岡県農政部 (1997) 平成9年度 静岡県有害動植物防除基準.
- 101) 日本植物防疫協会 (1997) 農薬適用一覧表 1997年版 (平成9年度農薬年度).

Studies on use of the pesticide resistant predatory mite *Amblyseius womersleyi* SCHICHA (Acari: Phytoseiidae) for integrated pest management on tea plants

Masatoshi MOCHIZUKI

Summary

More than one hundred species of insect pests occur simultaneously and attack tea plants (*Camellia sinensis* (L.) O. KUNTZE). Although the development and exploitation of control methods that does not depend on chemicals, such as biological controls, are eagerly needed, the achievement of these control methods differ among pest species. For example, the predatory mite, *Amblyseius womersleyi* SCHICHA, is an effective natural enemy of the Kanzawa spider mite, *Tetranychus kanzawai* KISHIDA, one of the most serious pests of tea plants in Japan. Since organophosphate- and carbamate-resistant populations of this predatory mite have been found, their survival during pesticide applications and control of *T. kanzawai* was confirmed in the early 1980s in the tea fields of Shizuoka prefecture, which is the largest tea production area in Japan. On the other hand, control methods for sucking pests (e.g., the yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* HOOD, and the tea green leafhopper, *Empoasca onukii* MATSUDA) still depend on chemical applications. Therefore, integrated pest management (IPM) that reduces pesticide application by harmoniously using pesticides and natural enemies is very important in tea cultivation.

The synthetic pyrethroid (SP) is very effective for controlling sucking pests on tea; however, SP sometimes causes an outbreak of *T. kanzawai* that induces severe damage on new leaves. The outbreaks were the result of the elimination of highly susceptible populations of *A. womersleyi* to SP. Since frequent acaricide applications against the increased spider mite population would result in greater resistance, alternative methods are needed. In the present study, to prevent the outbreak of *T. kanzawai* after application of synthetic pyrethroid, I first investigated the variation in susceptibility to SP. Some promising strains that showed resistance were found. The ecological traits of the selected SP-resistant strain were compared among the other native populations in Japan. The effect of the release of resistant *A. womersleyi* for the control of *T. kanzawai* under SP applications in the field was confirmed, and compatibility of many pesticides with the resistant *A. womersleyi* was evaluated using a susceptibility test in the laboratory. Finally, I confirmed that integrated control of the spider mite and the major two sucking pest populations by the SP resistant *A. womersleyi* and SP application was possible in a field trial. The major results are as follows.

1. Among the 20 populations of *A. womersleyi* tested, the Hiranuma-1 and the Ide-1 populations collected from eastern Shizuoka Prefecture were resistant to several synthetic pyrethroids in addition to organophosphate and carbamate insecticides. These variations in synthetic pyrethroids susceptibility of *A. womersleyi* suggest that *A. womersleyi* developed its SP resistance due to repeated application of the chemical to the tea fields. To test

Received : November 20, 2002

Department of Tea Agronomy, National Research Institute of Vegetables, Ornamental Plants and Tea
Kanaya, Shizuoka, 428-8501 Japan

Present Address: National Institute for Agro-Environmental Sciences 3-1-3, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki,
305-8604 Japan

this hypothesis, the experimental tea fields were sprayed 22 times with synthetic pyrethroids from 1991 to 1992. The population of *A. womersleyi* visibly increased at the beginning of July 1992. In addition, a decrease in mortality caused by SP (Fenprothrin) was observed in 1992.

2. To examine the SP resistance of *A. womersleyi* (Hiranuma-1 strain), 10 successive permethrin (one of the SP insecticides) selections were carried out under laboratory conditions. Although the LC_{50} of the selected strain (SEL10) to permethrin increased to only twice as high as that of the initial strain during 10 selections, it is much higher than the recommended permethrin concentration for tea growers. The resistance to organophosphate and carbamate insecticides was also confirmed in the SEL10 strain. The developmental period, fecundity and diapause attribute of the SEL10 strain were compared with several indigenous strains. The fecundity of the SEL10 strain was significantly higher than other tested strains. There was a large variation in the diapausing rate at 18° C under 9L15D between strains. Hatchability and survival rates were more than 90% and 85%, respectively, regardless of the crossing. No reproductive incompatibility was observed at inter-strain crossing. This indicates the possibility of breeding a new resistant strain of *A. womersleyi* by hybridization and selection for release into deciduous fruit trees or into glasshouses with short day length. The resistance stability of the SEL10 strain was monitored after the selection. The permethrin resistance level remained stable for 20 months in the isolated rearing, but the resistance level decreased greatly in the F_1 generation after crossing with the susceptible strain.

3. To prevent the resurgence of the *T. kanzawai* on tea plants caused by the application of synthetic pyrethroid insecticides (SP), a SP-resistant *A. womersleyi* was released onto tea bushes under SP (permethrin) application. The released predators successfully survived and may be able to suppress *T. kanzawai*. In the plot where *A. womersleyi* was released, the damage to new leaves was less severe than in the control plot and the predators remained resistant to the permethrin in the bushes. The selective use of pesticides that are harmless against natural enemies is necessary to achieve a program of integrated tea pest management. Although mortality of adult females of the tested strain in response to SP was from 6.5 to 89.3%, and mortality was more than 95% in response to several carbamate and organophosphate insecticides, usefulness of *A. womersleyi* as an agent of biological control was successfully demonstrated in the present study. These facts indicate that the lethal effects on the predatory mites observed in the laboratory were not fully expressed on the tea bushes because deposition of chemicals was reduced in the tea bush by the thick leaf layer when the plucking surface was sprayed. Therefore, as pruning removes the thick layer of leaves and pesticides applied can easily reach *A. womersleyi* after pruning, the use of pesticides that cause high mortality should be avoided.

4. Integration of biological control of the spider mite with chemical control of other pests by SP application was evaluated at experimental tea fields in the second tea season in 1994. The density of *T. kanzawai* peaked in mid-June, then declined. In response to this population change, the occurrence of *A. womersleyi* was also confirmed. In 34 plots of 40 assessed in the tested field, damage to new leaves in plucking in late June was lower than their economic injury level (EIL). The resistant *A. womersleyi* population generally suppressed the *T. kanzawai*. Sucking pests, *S. dorsalis* and *E. onukii* were suppressed better by SP than other organophosphate insecticides. Damage rate of new shoots by these sucking pests were also lower than those in the control plots sprayed with organophosphate and carbamate insecticides. These results show that use of this resistant *A. womersleyi* population can be successfully integrated with the use of synthetic pyrethroids to control other pest species attacking tea plants. For the next step, techniques for release of the resistant *A. womersleyi* population into tea fields should be evaluated when resistant populations do not occur in the fields.

5. Analyzing the relationship between occurrence of both species at sprouting time and damage rate of new leaves at plucking time in each plot, damage rate tends to be lower as the peak density of *A. womersleyi* becomes

higher. A significant negative correlation was detected between damage to new leaves at plucking time and predator/prey ratio at sprouting time. The damage of new leaves by *T. kanzawai* was well controlled by the naturally occurring resistant *A. womersleyi*. The damage rate of new leaves at plucking time, however, become higher as the infestation of *T. kanzawai* on the mature leaves became severe. Therefore, these results suggest that acaricide application harmless to *A. womersleyi* before sprouting time and additional release of the resistant *A. womersleyi* in early spring or their integration is important to effectively control *T. kanzawai*.