

第1章 緒論

第1節 コナダニ類によるハウレンソウ被害の実態

コナダニ類とは一般的にダニ亜綱コナダニ団のダニ類を指す (Krantz and Walter, 2009; 安倍ら, 2009). この分類群には腐食性, 食穀性, 食菌性, 動物寄生性および植物寄生性など, 様々な環境下に見出される多様な種を含む. 1970年代までは貯穀, 食品, 衛生害虫として問題となることが多く (大島, 1977; 佐々, 1970), これらに関する研究が古くから行われてきた. 農作物においてもハウス栽培キュウリ *Cucumis sativus* L., ナス *Solanum melongena* L., ハクサイ *Brassica rapa* L. var. *pekinensis*, トマト *Solanum lycopersicum* L. の育苗床などでコナダニ類による被害が発生することは知られていたが (江原・真梶, 1975; 小林・深沢, 1983; 藤本・足立, 1977), コナダニ類は雌成虫でも胴長が約 500 μ m 程度と微小であり (中尾・田神, 2009), 寄主植物の乾燥や硬化などによる環境悪化で速やかに移動を開始したり, 死亡しがちであるために発見が難しいことから, 原因不明の生理障害あるいは生育異常としてその多くが見過ごされてきたものと考えられる. このため, 加害種やその生態, 被害状況などはほとんど明らかにされてこなかった.

ハウレンソウ *Spinacia oleracea* L. のコナダニ類による被害は 1975 年に北海道河東郡音更町の施設栽培圃場において日本で初めて確認され, 主な加害種はハウレンソウケナガコナダニ *Tyrophagus similis* Volgin (コナダニ科; 以下ハウコナダニと略記; 図版 1-A) であることが明らかとなった (中尾・黒佐, 1988). 被害は露地栽培よりも施設栽培で多く発生し, 被害程度, 寄生量ともに施設栽培ハウレンソウで顕著である (中尾, 1989). 近年ではハウス栽培, ハウス雨よけ栽培の増加とともに発生地域が拡大し, 全国的な問題となっている (春日・天野, 2000). ハウコナダニはハダニ類に代表される植物葉寄生性ダニと異なり, 通常は主に有機物を餌にして耕作土壌の表層で生息するが (Kasuga and Amano, 2005; 松村ら, 2009), 過度の密度増加によりその一部がハウレンソウの新芽付近に移動し, 加害するとされている (春日・天野, 2000; 増田, 2010a). 加害されて小孔が開いた新芽や新葉はその後褐変し, 健全な成長が不可能となって, 展開した葉には光沢を帯びた奇形症状が現れる (中尾・黒佐, 1988; 春日, 2005; 図版 1-B). さらに被害が激しいときには芯止まりとなるため, 商品価値が大幅に低下

し安定生産の障害となっている.

本種の密度が増加する条件は明白ではないが, 過度の連作, 土壌改良を目的にした未熟有機物の土壌への施用などが密度増加を助長するとされている. また, 本種は高湿度を好むにも関わらず (Kasuga and Amano, 2000), 生産現場では圃場内でも特に土壌が乾燥しやすい場所での被害が多いことが知られていた. ハウレンソウ栽培では播種から生育前半には土壌水分を高く保つが, 生育後半には徒長防止や収穫時の作業性確保などのため土壌水分を絞った管理を行う. 生育前半の湿潤な土壌で大量に増殖したハウコナダニが, 生育後半に土壌の乾燥を忌避して分散し, 比較的湿度の高いハウレンソウの新芽部分に移動することで被害が発生するものと想定されているが, 未だ実証はなされていない.

ハウコナダニは温度条件 10 $^{\circ}$ C での産卵数が最も多く, 25 $^{\circ}$ C での増殖能力が最も高い, 比較的低温性のダニである (Kasuga and Amano, 2000). そのためハウレンソウ栽培においては主に春期および秋期に被害が多発する (中尾・黒佐, 1988; Kasuga and Amano, 2003). 特にハウレンソウ単価の高い春期の品質および収量の低下は生産者の収入に大きな影響を与えることから, 対策が緊急の課題となっている. 本種は, 従来まで発生が認められていなかった圃場でも急に甚大な被害をもたらす事例が報告されており, 逆に, 常発圃場であっても年度によっては被害の発生が皆無であることも珍しくないため, 被害の発生予測が難しい難防除害虫と位置づけられている.

第2節 化学農薬による防除の実態

ところで, ハウコナダニを含め, 土壌中に存在する微小動物の密度を肉眼またはルーペなどで調査を行うのは不可能であるため, これまでツルグレン法, 浮遊法, プレート法など様々な抽出方法が開発されてきた (佐々, 1965; 青木, 1973; Krantz and Walter, 2009). しかし, これらの方法は特別な装置や労力を必要とするため, 生産者が圃場で実施するのは困難である. 仮に土壌中のハウコナダニの密度を推定できたとしても, 茎葉部での被害発生の有無とは必ずしも一致しないことから, 被害発生の予測は困難を極めていく. ハウレンソウは生育期間が 30 ~ 40 日程度と短いうえに, 加害された部位がそのまま商品となることから (中尾・黒佐, 1988; 春日, 2005), 作物体上に

ハウコナダニの寄生を認めてからの防除では手遅れとなる場合が多い。このため、ほとんどの場合は発生確認の有無にかかわらず、化学農薬の土壌施用および茎葉散布による防除が行われている。化学農薬の処理法として、播種前のDCIP粒剤土壌処理と生育初期のDDVP乳剤2回散布の組み合わせが高い効果を示すことが報告されているが(中尾, 2000), 生産現場では本処理法を適用しても被害を抑制しきれない事例もあり(糸山・新山, 2005), これ以上の回数の防除が行われているのが現状である。

さらに、これまで化学農薬の中で最も防除効果が高いとされてきたDDVP乳剤は安全性の問題から2008年に製造中止となり、在庫分も2011年11月に使用期限が切れたことから、生産者の不安は増大している。2012年現在、ハウコナダニに対して登録のある茎葉散布殺虫剤はフルフェノクスロン乳剤およびエマメクチン安息香酸塩の2剤であり、限られた種類の化学農薬を複数回にわたって散布している状態である。ハウレンソウは1圃場あたり年間4~5作の作付けが行われるため、収穫した作物自体への散布回数は少なくとも、土壌に対してはその何倍も化学農薬が散布されていることになる。このため、ハウコナダニの薬剤抵抗性獲得や、周辺環境への影響が心配される。また、高温となりやすい施設内での長時間の化学農薬散布により、生産者の健康への影響も懸念される。

多くのハウレンソウ圃場では、ハウコナダニに加えてハウレンソウ萎凋病菌 *Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae* による萎凋病など難防除土壌病害虫が高頻度で発生見するため(安川ら, 2010), 年1回、もしくはそれ以上の土壌消毒が行われることが多い。土壌消毒は化学農薬を用いて行うのが一般的であるが、環境保全に配慮して熱水や蒸気、太陽熱などの熱を利用した物理的な技術も開発されており、ハウコナダニに対する高い殺虫効果が認められている(松村ら, 2005)。

しかし、いずれの土壌消毒技術も実施直後にはハウコナダニに対して高い防除効果が認められるものの、本種は移動性が高いため、土壌消毒が実施されなかった隣接圃場や、薬剤や熱が到達しなかった圃場の縁、または土壌の深い部分などから速やかに移動してくるとされており(松村ら, 2005; 浜崎, 2006), 消毒後に1作作付けしただけでも再発が確認されることも珍しくない。さらに、処理によって土壌中の微小動物や菌類が大幅に減少するため、土壌微生物群集の多様性が失われ(星野(高田)ら, 2005; 浅野・宮崎, 私信),

ハウコナダニや萎凋病菌の増殖にとって好適な環境となり、被害発生を増長している可能性が指摘されている(浅野・宮崎, 私信)。

以上のことから、多数回の化学農薬処理による環境負荷の低減や労力の軽減を図り、ハウレンソウの安定生産に寄与する持続的なハウコナダニ密度制御技術の開発が期待されている。

第3節 耕種的防除法を用いた防除の試み

化学農薬による防除効果が不安定なハウコナダニによる被害発生地域の拡大に伴い、耕種的防除法についても各府県において検討されてきた。これまでに福井県や奈良県などにおいて、ハウコナダニ被害の低減が可能なハウレンソウ品種があることが示された(高岡, 2010; 安川・松村, 2011)。しかし、多湿条件になりやすいわが国においてはハウレンソウべと病菌 *Peronospora effusa* (Greville) Cesati によるべと病が頻繁に発生することから、現在、べと病菌には8つ以上のレースが知られており(Yamauchi et al., 2011), これに抵抗性を有する品種の選択が一般的である。また、品種によって抽苔特性が異なることから、播種時期によって品種を変更する必要がある。すべてのレースに対して抵抗性を有しつつ、ハウコナダニ被害発生が少ない品種を選択するのは非常に困難である。また、奈良県においては播種前の複数回耕起や、休作中の多灌水によって土壌中のハウコナダニ密度を低減する技術が検討されているが(松村ら, 2009), いずれの処理も効果は一時的であり、圃場の土壌物理性に対する影響も懸念されることから、生産現場における実用化にはさらに詳しい調査が必要と考えられる。

第4節 生物農薬を用いた防除の現状

害虫を含め生物の個体群は、様々な環境要因により増殖に制限を受けている。気象条件や居住空間などの非生物的要因だけでなく、被食-捕食関係などに代表される生物間相互作用も重要な要因である(宮下, 2009; 安田, 2011)。1990年代に入って、病害虫の拮抗微生物、捕食性および寄生性天敵などを生きた状態で製品化し、生物間相互作用を活用して防除を行う生物農薬が開発されるようになり、現在までにBT剤を除いても40種類以上の生物が農薬登録されている。生物農薬として利用される生物の多くは自然環境にもとから存在するものであり、また、これらの機能は作用を及ぼす相手への特異性が高い。このため、化学農薬を利用する場合と比較して人畜や環境に対する

安全性が高いと考えられている（日本植物防疫協会，2006）。

近年、消費者の食に対する意識の変化により、減農薬農産物への志向が高まっており、全国的に生産者の間で「IPM (Integrated Pest Management; 総合的病害虫管理)」の取り組みが進められている。IPMとは、「農作物に対する有害生物制御に応用可能な全ての技術を精緻に考慮し、それらの発生増加を抑制する適切な方法を総合的に組み合わせ、農薬やその他の防除対策の実施は経済的に正当なレベルに保ちつつ、人や環境へのリスクを軽減または最小限に抑えること」とFAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations; 国連食糧農業機関; <http://www.fao.org/>)によって定義されている。中でも、生物農薬の利用がIPMの基幹を担う技術として注目されている。生物農薬は主に施設栽培の野菜類などで一般的に利用されるようになり、高い効果が得られることが報告されている（柏尾ら，2005；水久保ら，2005；浜村ら，2005；齊藤，2005；黒木，2011）。しかし、ハウレンソウのホウコナダニに対して唯一登録のある生物農薬ククメリスカブリダニ *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (ダニ亜綱：カブリダニ科) は、土壌への定着性が低く防除効果が不安定であるため、有機農業実践圃場の一部を除いては利用されていないのが現状である。このため、ホウコナダニに対して効果の高い、新たな生物農薬の開発が求められている。

ところで、これまでに日本国内で用いられてきた生物農薬や花粉交配用昆虫を代表とする農業資材のほとんどは海外からの移入種であり、国内の生態系に対する影響が懸念されている。例えば、1992年頃から施設栽培トマトの受粉に用いられてきた外来種セイヨウオオマルハナバチ *Bombus terrestris* (Linnaeus) (ハチ目：ミツバチ科) は、1996年に野生化が確認され（永光2007；横山・糠塚，2007）、2010年までに北海道の118市町村において観察されている（中原ら，2011）。外来マルハナバチ類の定着は、交雑、営巣環境の重複による競争、ウイルスやダニなど外来の寄生生物の侵入などによって土着種の存続に悪影響があると考えられている（五箇ら，2000）。また、吸蜜方法の違いによる虫媒植物への影響も示唆されている（堂園・横山，2007）。これと同様に、生物農薬として導入した捕食性の天敵が野外に逃亡した場合、近縁種との交雑による遺伝子の攪乱が危惧されるだけでなく、(1) 侵入種と同じ生態的地位を占める在来種の駆逐、(2) 在来種が駆逐されたことによる特定の害虫および

ただの虫の増加または減少、(3) 特定の害虫およびただの虫の増加または減少による寄主植物への影響（桐谷，2009）、など生物群集へカスケード式に影響を及ぼすことが懸念される。近年では生態系を攪乱する心配が少ない日本国内産の土着天敵を生物農薬として採用する動きが見られており（Nakahira et al., 2010; Nishikawa et al., 2010; 大井田・上遠野，2007; 大井田ら，2007）、ホウコナダニに対する生物農薬も国内産の土着天敵から探索すべきであると考えられる。

第5節 ヤドリダニ類の研究史

現在、施設栽培野菜などで生物農薬として利用されている捕食性ダニ類は、ミヤコカブリダニ *Neoseiulus californicus* (McGregor) やスワルスキーカブリダニ *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot (カブリダニ科) などに代表されるように、すべてダニ亜綱ヤドリダニ団に含まれるカブリダニ科に属している（Krantz and Walter, 2009; 安倍ら，2009）。ヤドリダニ団とは第II～IV脚基節外側方に気門を持ち、体長0.3～1.2mm内外、淡褐色ないし茶褐色を呈する一群のダニ類である（Krantz and Walter, 2009）。カブリダニ類は植物体上に見出されるため比較的分類が進んでおり（江原，2003）、食性や飼育法まで確立している種が多い（天野・後藤，2009）。しかし、4亜団10上科もの分類群に分けられるヤドリダニ団のうち（Krantz and Walter, 2009）、多くのダニ類については一般的に落葉や腐食層、堆肥などの有機物の多い環境や土壤中で自由生活を営むため（Ito, 1970）、カブリダニ類ほど分類が進んでおらず、多くの分類群で既知種数よりも未知種数が多いと推定されている（江原2003; 石川・高久，2003）。

本邦におけるヤドリダニ類の生態学的な研究は、古くは岸田（1940）によるカイコ *Bombyx mori* (Linnaeus) (チョウ目：カイコガ科) に寄生するハエダニ科の一種に関する記述や、中松（1958）がイエバエ *Musca domestica* Linnaeus (ハエ目：イエバエ科) などのハエ類体表から見出したハエダニ *Macrocheles muscaedomesticae* (Scopoli) (ハエダニ科) の捕食習性と繁殖について調べた例などがある。その後、生態学的研究はおよそ10年間行われてこなかったが、1970年代に入ってハエ類や線虫に対する捕食能力が注目され（Ito, 1970, 1971）、主にきゅう舎において発生するハエ類などの防除にハエダニ類やヤドリダニ類を利用することが検討された（伊戸，1978）。

繁殖システムや生活史についても詳しい研究が行わ

れた。堆肥中に生息するハエダニで見られる交尾前ガード行動が精子競争に起因する戦略であることが明らかにされ(安井, 2001), また, 伊戸(1973b)によりヤドリダニ科の第2若虫期における発育の特異性などについても詳しく報告された。野外における生態に関しては, きゅう肥中でのハエダニやヤドリダニ類の季節消長や種構成の経時的变化(伊戸, 1978), 森林内に見られる樹上性および土壌性ヤドリダニ類の種構成などが報告されているが(Takaku and Sasaki, 2007), 農耕地の土壌においては種構成などの報告はほとんどなされていない。

海外においてヤドリダニ類は, ロビンネダニ *Rhizoglyphus robini* Claparède (コナダニ科) やキノコバエ類(ハエ目: キノコバエ科) などに対する生物的防除への利用が検討されてきた(Gerson and Smiley, 1990; Wright and Chambers, 1994; Lesna et al., 2000; Jess and Bingham, 2004)。現在では, オランダで *Hypoaspis (Stratiolaelaps) miles* Berlese (トゲダニ科) が生物農薬として販売され, キノコバエ類の防除に用いられている。ホウコナダニを捕食するヤドリダニ類についての報告は僅少であるが, Oliver Jr. and Krantz (1963) がハエダニ科の1種について, Kasuga et al. (2006) が *Hypoaspis (Gaeolaelaps) aculeifer* (Canestrini) について, ホウコナダニに対する捕食を確認している。

捕食習性が明らかとなっているヤドリダニ類は一部の種類に限られるが, 一般的に土壌中での生息密度が高い土壌線虫, トビムシ類, ハエの卵や幼虫および他種のダニ類などを捕食していると考えられている(Ito, 1971; 青木, 2001)。このような土壌生活を行う捕食性ヤドリダニ類を活用することで, これまでカブリダニ類の利用では困難であった, 土壌中でのホウコナダニ個体群密度のコントロールができる可能性があると考えられる。

第6節 本研究の目的と概要

本研究では, 施設栽培ホウレンソウの茎葉部を加害するホウコナダニに対して, 土着の捕食性天敵であるヤドリダニ類を活用した土壌中での個体群制御技術の開発を目指し, ヤドリダニ類のホウレンソウ圃場における種構成, ホウコナダニ捕食者としての能力, 生物農薬としての適性, 圃場で用いられる殺虫剤による影響の有無などを明らかにし, ホウレンソウ栽培条件下での保護利用法について検討した。

第2章ではホウレンソウ圃場で発生するヤドリダ

ニ類の種構成, 圃場内分布および発生活長を明らかにし, ホウコナダニおよびトビムシ類の密度増減とヤドリダニ類の密度増減の傾向とを照らし合わせることで, 被食-捕食関係について推測した。第3章では第2章で確認したヤドリダニ種のうち, 日本未記録の3種について分類形質や生殖方法などを調査し, 種の同定を行った。第4章では, 多様なヤドリダニ類が存在するホウレンソウ圃場の土壌および籾殻堆肥から, ホウコナダニ捕食種の一次スクリーニングを行った。第5章では, 第4章でスクリーニングされたヤドリダニ類雌成虫のホウコナダニに対する捕食能力を明らかにし, 大量増殖を目指して代替餌による累代飼育を試みた。第6章では, ホウレンソウ圃場で用いられる化学農薬のうち, 茎葉散布殺虫剤, 土壌施用殺虫剤および土壌消毒剤の土着ヤドリダニ類に対する影響を調査した。第7章では, ホウコナダニの増殖を未然に防ぐ土壌条件をつくるため, ホウコナダニが餌として利用しにくく, ヤドリダニ類およびトビムシ類など土壌動物群集の密度を増加させる資材を有機質資材および土壌改良資材から探索し, 圃場におけるヤドリダニ類の保護利用法について検討した。第8章では第7章までに得られた全体の結果から, ホウレンソウ栽培において土着ヤドリダニ類を防除体系に組み込んだ, 持続的なホウコナダニの個体群制御技術について総合的に考察した。

第2章 ホウレンソウ圃場の土着ヤドリダニ相

第1節 緒言

近年、施設栽培ホウレンソウでは土壌生活性害虫ホウコナダニによる茎葉の被害が問題となっているが(中尾・黒佐, 1988; 春日・天野, 2000), 化学農薬の茎葉散布による防除は土壌に生息する本種に対し根本的な解決となっていないため, 新たな防除法の確立が求められている. ダニ類の生活場所では微小動物間の多様な食物連鎖関係が成り立っていることから(青木, 1973; Moore et al., 1987; Neher, 1999; 金子, 2007), ホウコナダニに対しても捕食性天敵が高い確率で存在し, 土壌中において食物連鎖関係が成立しているものと考えられる. 本研究では, 生物間の被食-捕食関係を用いたホウコナダニの持続的な個体群制御を実現するため, 北海道内の施設栽培ホウレンソウ圃場に土着の土壌生活性捕食者の1グループであるヤドリダニ類に着目した.

ヤドリダニ類は土壌中の微小な節足動物や線虫などを捕食する多様な種を含み(Koehler, 1999; Krantz and Walter, 2009), 海外においては土壌生活性害虫に対する生物的防除への利用が検討されてきた(Gerson and Smiley, 1990; Wright and Chambers, 1994; Lesna et al., 2000; Jess and Bingham, 2004). 現在では, オランダにおいてキノコバエ類に対する生物農薬として *H. (S.) miles* が販売されている. ホウコナダニを捕食するヤドリダニ類については, Oliver Jr. and Krantz (1963), Kasuga et al. (2006) などにより報告されているが, 実用化はなされていない.

一方, 土壌中での生息数がダニ類に匹敵する生物として, 植物遺体や糸状菌類の分解者であるトビムシ類(内顎綱: トビムシ目)が知られている(青木, 1973). ヤドリダニ類の中にはトビムシ類を好適な餌とする種が存在することから(Hertenstein, 1962), ホウレンソウ圃場に土着のヤドリダニ類の中にも, ホウコナダニに依存せずトビムシ類を主要な餌として利用する種が混在している可能性も考えられる. 一般的に, 被食者と捕食者の発生活長には関連が見られることから(ベゴンら, 1996), 本研究ではホウレンソウ圃場の主要なヤドリダニ類, ホウコナダニおよびトビムシ類の発生量を栽培期間中継続して調査し, それぞれの個体群動態から被食-捕食関係を明らかとして, ホウコナダニの持続的な個体群制御に活用可能なヤドリダニ類を探索することを目的とした.

また, 野外における有機物中のヤドリダニ類の発生活動

態について, ヤドリダニ科は一般的に春季および秋季に増加する季節消長が見られるが, ハエダニ科では季節よりも発生源となる有機質の経時的変化に強く影響さるなど, 種によって様々な環境条件に影響された個体群動態を示すことが報告されている(伊戸, 1978). 施設栽培ホウレンソウ圃場においては, 耕起, 灌水, 薬剤処理などの人為的な介入がヤドリダニ類の個体群動態に強く影響すると考えられるが, このような条件下でも共通な季節消長が見られるか検討した.

第2節 材料および方法

第1項 各地域における発生種

2009年10月に北海道内の施設栽培ホウレンソウ圃場15か所(上川郡東神楽町, 上川郡東川町, 旭川市, 上川郡比布町, 恵庭市; 生産者I~VIII)および上川農業試験場(比布町)のホウレンソウ栽培1㎡枠圃場2か所から, 栽培中~栽培直後の土壌を1圃場につき1試料採取し, 試料No.1~17とした(第1表).

採取場所は, 作土と土壌条件が大きく異なる出入り口付近やハウスサイドなどの場所は避け, ホウレンソウ栽培中の場合は畝間または株間, 収穫後耕起前では残渣の下やその周辺, 耕起後では任意の場所とした. 1圃場につき対角線上の2カ所から, 深さ0~5cm程度の表層土壌を移植ごてを用いて約500gずつ紙製封筒に採取し, 実験室内で混和して1試料とした. なお, 土壌表面が極端に乾燥している場合は表層を移植ごてで除いてから採取した. 詳細な採取場所, 月日, 圃場の状態などは第1表に示した.

混和した土壌試料は紙製封筒に入れ, 乾燥防止のためビニール袋で覆って20℃で保管し, 採取日から8日以内に300mlをツルグレン装置(篩目1mm, 電球(40W)から試料までの距離約9cm)に設置した. いずれの試料も48時間抽出した. なお, 試料No.1~6については200ml, 24時間の条件でも抽出を行い2反復とした. 70%エタノール入りの管瓶に落下したヤドリダニ類およびホウコナダニを集め分離し, 得られたヤドリダニ類はすべてのステージについてHoyer氏液(Krantz and Walter, 2009)を用いスライド標本を作製して同定し, 種ごとに若虫および成虫を区別せず合計頭数を記録した. なお, 一部の標本については北海道教育大学教育学部教授・高久元博士に同定を依頼した. ホウコナダニ

第1表 調査圃場概要 (2009年)

採取場所		試料 No.	採取日	採取日の状態	抽出日
市町村	生産者*				
東神楽町	I	1	10/1	ホウコナダニ被害により 廃耕, 耕起前	反復1; 10/1 反復2; 10/9
		2	10/1	5葉期	反復1; 10/2 反復2; 10/7
	II	3	10/1	3~4葉期	反復1; 10/2 反復2; 10/7
		4	10/1	収穫後, 耕起前	反復1; 10/2 反復2; 10/7
東川町	III	5	10/1	3~4葉期	反復1; 10/2 反復2; 10/7
		6	10/1	8月末収穫終了, 10/1 (土壌採取直前) に耕起	反復1; 10/3 反復2; 10/9
旭川市	IV	7	10/5	3~4葉期	10/5
		8	10/5	3~4葉期	10/5
	V	9	10/5	3~4葉期	10/5
		10	10/5	3~4葉期	10/5
	VI	11	10/14	5葉期	10/15
		12	10/5	収穫後, 耕起前	10/5
比布町	VII	13	10/5	収穫後, 耕起前	10/9
		14	10/26	収穫中	10/27
恵庭市	VIII	15	10/26	収穫中	10/27
		16	10/15	鋤き込み10日後	10/15
比布町	IX	17	10/15	鋤き込み10日後	10/15

* I~VIIIは生産者圃場, IXは上川農試圃場.

は標本とせず実体顕微鏡下で観察し, 幼虫, 第1若虫, 第3若虫および成虫を区別せず合計頭数を記録した.

第2項 栽培期間を通じた種構成, 圃場内分布および発生消長

第1項の調査においてホウコナダニが中~甚発生(土壌300mlあたりの頭数が1~10頭:少, 10~100頭:中, 100~500頭:多, 500頭以上:甚)であった生産者I, II(東神楽町)および生産者V(旭川市)の施設栽培ホウレンソウ圃場6か所(第1表)を2010年の調査圃場として選定し, A1, A2, B1, B2, C1およびC2圃場とした(第2表). なお, 同一アルファベットは同じ生産者が管理することを示す. 各圃場の面積はA1およびA2圃場が360㎡, B1およびB2圃場が240㎡, C1およびC2圃場が270㎡である. A1およびA2圃場は2009年6月にカーバムナトリウム塩液剤(キルパー, 日本曹達株式会社)60L/10aにより, B1圃場は2009年10月の土壌採取直後にダゾメット微粒剤(バスアミド微粒剤, アグロカネシヨウ株式会社)30kg/10aにより土壌消毒履歴があり, B2, C1およびC2圃場は2009年に土壌消毒を実施していない.

ホウレンソウの栽培期間は概ね30~40日間程度で

あるが, 2010年は各圃場とも2月中旬~4月上旬の間に1作目の播種を行い, その後9月下旬~10月中旬まで4または5作連続して作付けした. 地上部の防除は生産者慣行で, 土壌施用殺虫剤や土壌消毒は栽培上の必要に応じて実施した.

各圃場に15.0~45.0㎡の調査区を2か所(A1, B1およびC1圃場)または4か所(A2, B2およびC2圃場)設け, 4月上旬~9月下旬の間に約10日間隔で土壌を採取した. 採取場所の土壌環境の違いが個体数に与える影響を最小限にするため, 各区の試料採取場所を通路から3列目と4列目の畦間に限定し, 両側の植物体から最も離れるよう注意した. なお, 前回までの採取跡, 足跡, 水滴の落下などで攪乱された場所は採取の対象外とした.

調査区ごとに深さ0~5cmの土壌約300mlを土壌採取器(直径35mm×長さ300mm)を用いて紙製封筒に採取し, 軽く混和してから当日中に200mlをツルグレン装置に設置した. いずれの試料も48時間抽出した. なお, B2圃場については6月上旬~9月下旬までの間に, 深さ0~5cmに加えて, 5~10cmおよび10~15cmの深度からも土壌を採取し, 垂直分布もあわせて調査した.

2011年は2010年と同一のA1, A2, B1, B2, C1およびC2圃場を調査した。各圃場の栽培管理および栽培期間は2010年とほぼ同様である(第3表)。各圃場に15~45㎡の調査区を設け、4月上旬~9月下旬の間に7~10日間隔で土壌を採取した。前述の試料採取場所から深さ0~5cmの土壌100mlを採土管(直径50mm×高さ50mm)を用いて3反復採取し、当日中に各反復とも全量を前述のツルグレン装置に設置した。いずれの試料も24時間抽出した。

得られたヤドリダニ類はすべてのステージについてHoyer氏液を用いスライド標本を作製して同定し、種ごとに幼虫、若虫および成虫の個体数をそれぞれ記録し

た。なお、第1若虫と第2若虫は区別しなかった。ホウコナダニは標本とせず実体顕微鏡下で観察し、幼虫、第1若虫、第3若虫および成虫の合計頭数を記録した。トビムシ類についても同様に、若虫および成虫の合計頭数を記録した。

第3項 統計検定

基準調査日(t)から翌調査日(t+1)までの各土壌動物密度の変動を、一次関数の傾き $\{y(t+1) - y(t)\} / \{x(t+1) - x(t)\}$ でもって表し、ホウコナダニと各ヤドリダニ類との間、トビムシ類と各ヤドリダニ類との間において、それぞれ密度変動の相関関係を解析した。また、一般的

第2表 調査圃場概要(2010年)

市町村	圃場	区数	2009年 土壌消毒 履歴	栽培期間(上:播種日,下:収穫日)					土壌施用剤および土壌消毒 処理日
				1作目	2作目	3作目	4作目	5作目	
東神楽町	A1	2	あり	2/17 4/6	4/15 5/27	6/13 7/20	8/1 9/10	9/15 10/15	2/17, 4/15:DCIP粒剤 5/28:カーバムナトリウム塩液剤 6/13:ベンフラカルブ粒剤
	A2	4	あり	2/22 4/19	4/22 5/27	6/3 7/5	7/11 8/19	8/22 10/1	2/22:DCIP粒剤
東神楽町	B1	2	あり	3/3 4/15	4/19 5/27	6/2 6/29*	7/23 8/23	8/30 10/1	3/3:ダイアジノン粒剤 6/29:カーバムナトリウム塩液剤
	B2	4	なし	3/26 5/6	5/12 6/14	6/23 7/13*	7/29 8/30	9/3 10/4	3/26:ダイアジノン粒剤 5/12:DCIP粒剤 7/13:カーバムナトリウム塩液剤
旭川市	C1	2	なし	3/11 4/19	4/22 6/2	6/6 7/7	7/8 8/14	8/16 9/22	3/11:ダイアジノン粒剤 4/22:ベンフラカルブ粒剤**
	C2	4	なし	4/9 5/28	5/30 7/8	7/14 8/20	8/24 9/28	-	4/9:ダイアジノン粒剤

*萎凋病多発のため廃耕

**1区のみ施用

第3表 調査圃場概要(2011年)

市町村	圃場	反復	2010年 土壌消毒 履歴	栽培期間(上:播種日,下:収穫日)					土壌施用剤および土壌消毒 処理日
				1作目	2作目	3作目	4作目	5作目	
東神楽町	A1	3	あり	2/20 4/6	4/16 6/2	6/24 7/31	8/2 9/7	9/7 10/12	4/16, 4/15:DCIP粒剤
	A2	3	なし	3/1 4/27	5/6 6/17	6/21 8/5	8/17 9/30	-	なし
東神楽町	B1	3	あり	3/11 4/19	5/1 6/5	6/19 7/21	8/4 9/2	9/5 10/9	3/11,5/1,6/19,8/4,9/5 :ダイアジノン粒剤 3/11,5/1:DCIP粒剤
	B2	3	あり	3/5 4/15	4/23 5/27	6/4 7/2	7/16 8/18	8/23 9/24	3/4,7/16,8/23:ダイアジノン粒剤 3/4:DCIP粒剤
旭川市	C1	3	なし	2/19 4/10	4/18 5/28	6/1 7/5	7/12 8/13	8/16 9/7	8/16:ダイアジノン粒剤 2/19:ベンフラカルブ粒剤
	C2	3	なし	3/23 5/7	5/12 6/18	6/24 7/24	8/7 9/15	9/17 10/1	6/24,8/7,9/17:ダイアジノン粒剤 3/23:ベンフラカルブ粒剤

に捕食性天敵の密度は、被食者の増減にやや遅れて推移するとされていることから（ベゴンら，1996），前調査日（t-1）から基準調査日（t）までのホウコナダニおよびトビムシ類の密度変動と、基準調査日（t）から翌調査日（t+1）までのヤドリダニ類の密度変動においても、相関関係を解析した。耕起により各土壌動物が大幅に減少することは明らかであったため、耕起前-耕起後の傾きは解析から除外した。また、Holm法により多重比較の補正を行った。これらの統計解析は、統計ソフトJMP ver.9.0.0 (SAS Institute Inc., 2010) を用いて行った。

第4項 非ホウレンソウ圃場における発生種

少なくとも3年間以上ホウレンソウの栽培履歴がない圃場について、ヤドリダニ類の種構成を調査した。2010年は、10月5日に上川農業試験場内の施設栽培キュウリ圃場4か所（D1, D2, D3およびD4圃場；2010年5月上旬～6月上旬定植）、10月13日に東神楽町の施設栽培自家用野菜圃場1か所（B3圃場；2010年3月耕起）について、1圃場につき対角線上の2か所から深さ0～5cmの土壌を約300mlずつ採取した。土壌採取当日に200mlをツルグレン装置に設置して、48時間の抽出時間でヤドリダニ類およびホウコナダニを集め分離した。

2011年は、5月17日に上川農業試験場内の施設栽培キュウリ圃場3か所（D1およびD2圃場；2011年5月上旬～6月上旬定植）、8月1日に東神楽町2か所（A3圃場；2011年4月耕起, B3圃場；2011年3月耕起）、8月4日に旭川市1か所（C3圃場；2011年3月耕起）の施設栽培自家用野菜圃場について、1圃場につき3か所から深さ0～5cmの土壌を100mlずつ採取した。土壌採取当日に全量をツルグレン装置に設置して、24時間の抽出時間でヤドリダニ類およびホウコナダニを集め分離した。なお、これらの圃場では2009年から2011年にかけて土壌消毒を実施していない。

得られたヤドリダニ類は、すべてのステージについてHoyer氏液を用いスライド標本を作製して同定し、種ごとに幼虫、若虫および成虫の合計頭数を記録した。ホウコナダニは標本とせず実体顕微鏡下で観察し、幼虫、第1若虫、第3若虫および成虫の合計頭数を記録した。

第3節 結果

第1項 各地域における発生種

2009年10月にホウレンソウ圃場から採取した土壌17試料からは、発生量の多少はあるものの、いずれも

ヤドリダニ類が抽出され、計7科9属11種が確認された（第4表）。同一生産者の圃場間においても発生種に違いが見られたが、キノボリホコダニ *Parholaspulus arboreus* Ishikawa（ホコダニ科）を除くすべての種が複数圃場で確認された（第5表）。出現頻度が高く、発生量も多かった種は、Ascidae sp.2（マヨイダニ科；第3章において *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot) と同定；図版2-B）、*Hypoaspis* sp.（第3章において *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann と同定；図版2-C）、*Cycetogamasus diviortus* (Athias-Henriot)（ヤドリダニ科；図版2-F）、*Neogamasus* sp.1（ヤドリダニ科）およびアルストンホコダニ *Parholaspulus alstoni* Evans（図版2-G）であった。ホウコナダニはいずれの圃場にも存在し、本種の発生程度が高いほど抽出されるヤドリダニ類の頭数が多い傾向が見られた。なお、ホウコナダニの他にヤドリダニの餌となり得る土壌動物としてトビムシ類や線虫、ハエ幼虫なども多数確認された。

第2項 栽培期間を通じた種構成

2010年は調査したすべての施設栽培ホウレンソウ圃場においてホウコナダニの発生が確認された。また、ヤドリダニ類は前項で示した計7科9属11種がすべて含まれており、種までの同定が不可能であった一部の幼虫および若虫を除いて、新たに3科3種が確認された（第6表）。ヤドリダニ類の種構成割合は圃場によって異なったが、*Gamasina* sp.（ヤドリダニ団）および *Pachylaelaps* sp.（ダルマダニ科）を除く12種が複数の圃場から確認された（第7表）。そのうちAscidae sp.2が5圃場で優占種であった。また、*Hypoaspis* sp.が3圃場で、Ascidae sp.1（図版2-A）が2圃場で、*Macrocheles* sp.（ハエダニ科；第3章において *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi と同定；図版2-E）、アルストンホコダニおよび *Rhodacaridae* sp.（コシボソダニ科）が1圃場で比較的高い割合を示した。*C. diviortus*については発生量が少なかったものの、すべての圃場で確認された。C1, C2圃場間では種構成に大きな差はなかったが、A1, A2圃場間ではAscidae sp.1およびAscidae sp.2の、B1, B2圃場間ではAscidae sp.2、*Hypoaspis* sp.および *Macrocheles* sp.の構成割合に大きな差が見られた。

2011年は前年までに確認された種のうち *Rhodacaridae* sp.のみ発生が見られなかったが、新たに2科2種が確認された（第6表）。*Gamasina* sp.および *Pachylaelaps* sp.を除く13種が複数の圃場から

第4表 2009年にハウレンソウ圃場の土壌から発見されたヤドリダニ類

Order Mesostigmata (トゲダニ目)
 Cohort Gamasina (ヤドリダニ団)
 Family Ascidae (マヨイダニ科)
 Ascidae sp.1
 Ascidae sp.2 *
 Family Laelapidae (トゲダニ科)
 Genus *Hypoaspis* (ホソトゲダニ属)
 Hypoaspis* sp. *
 Hypoaspis (Gaeolaelaps) queenslandicus (Womersley, 1956)
 Family Macrochelidae (ハエダニ科) (トゲダニモドキ)
 Genus *Macrocheles* (ハエダニ属)
 Macrocheles* sp. **
 Family Parasitidae (ヤドリダニ科)
 Genus *Cycetogamasus*
 Cycetogamasus diviortus (Athias-Henriot, 1967)
 Genus *Neogamasus*
 ***Neogamasus* sp.1**
 Family Parholaspididae (ホコダニ科)
 Genus *Parholaspulus* (ホコダニ属)
 Parholaspulus alstoni Evans, 1956 (アルストンホコダニ)
 Parholaspulus arboreus Ishikawa, 1980 (キノボリホコダニ)
 Family Phytoseiidae (カブリダニ科)
 Genus *Neoseiulus* (ウスカブリダニ属)
 Neoseiulus makuwa (Ehara) 1972 (マクワカブリダニ)
 Family Rhodacaridae (コンボンダニ科)
 ***Rhodacaridae* sp.**

*第3章において *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot, 1961) と同定.

**第3章において *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann, 1949 と同定.

***第3章において *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi, 1964 と同定.

確認された (第8表). そのうち Ascidae sp.2 がすべての圃場で優占種であった. また, *Hypoaspis* sp. および *C. diviortus* が2圃場で, Ascidae sp.1 が1圃場で比較的高い割合を示した. マクワカブリダニ *Neoseiulus makuwa* (Ehara) については発生量が少なかったものの, すべての圃場で確認された. A1, A2 圃場間では種構成に大きな差はなかったが, B1, B2 圃場間では Ascidae sp.1, Ascidae sp.2 および *C. diviortus* の, C1, C2 圃場間では Ascidae sp.2 および *C. diviortus* の構成割合に大きな差が見られた.

第3項 非ハウレンソウ圃場における発生種

ハウレンソウ栽培履歴のない延べ10圃場からは, 種の同定が不可能であった幼虫を除き, 計6科14種のヤドリダニ類が得られた (第9表, 第10表). Ascidae sp.2, *Hypoaspis* sp., *Neogamasus* sp.1, アルストンホコダニおよびマクワカブリダニがハウレンソウ圃場と共通種であったが, その他4科9種は非共通種であった (第11表).

第4項 圃場内分布

ヤドリダニ類の発生量が最も多かった B2 圃場において水平分布を調査したところ, ヤドリダニ類は圃場内にはほぼ一様に分布することが明らかとなった. また, ホウコナダニの発生量も調査区間でほぼ同様であった (第12表).

垂直分布については, ヤドリダニ類およびホウコナダニは深さ0~5cmの表層土壌で最も密度が高く, 深度が深くなるに従って密度が低くなる傾向が見られた (第13表). Ascidae sp.1 は深さ0~5cmで27.2%と高い構成割合を占めていたが, 深さ5~10cm および10~15cm ではそれぞれ8.3% および7.2% と, 深度が深くなるに従って割合が低くなった. 一方, トゲダニモドキ *Hypoaspis (Gaeolaelaps) queenslandicus* (Womersley) (図版2-D) は深さ0~5cmで1.6%と構成割合が低かったが, 深さ5~10cmでは15.0%, 10~15cmでは25.3%と深度が深くなるに従って高い割合を占めた.

第5表 土壌試料から得られたヤドリダニ類頭数(2009年)

種名	成若虫数(300mlあたり)*																
	No. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Ascidæ</i> sp.1	0	0	1.8	0	0.6	0	0	0	0	0	3.0	0	0	0	0	0	0
<i>Ascidæ</i> sp.2	0	2.4	4.8	0	0.6	6.6	6.0	0	1.0	0	3.0	1.0	1.0	1.0	0	0	8.0
<i>Hypoaspis</i> sp.	0	0	0.6	12.0	1.2	10.8	1.0	0	1.0	3.0	0	0	0	0	1.0	3.0	0
<i>H.queenstandicus</i>	0	0.6	0	1.2	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Macrocheles</i> sp.	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0
<i>C.diviortus</i>	12.0	0.6	0	12.0	0	0	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	8.0	0
<i>Negamasus</i> sp.	9.0	0.6	0	7.8	0	0	1.0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	1.0	0
<i>P.alstoni</i>	0.6	0	0	0	0	0	1.0	1.0	3.0	1.0	2.0	0	0	0	0	0	0
<i>P.arboreus</i>	0	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>N.makuwa</i>	0	0	0	0	0	0	4.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.0
<i>Rhodacaridae</i> sp.	0	0.6	0	0	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	0	0
コナダニ発生程度**	甚	多	甚	中	中	多	中	少	中	中	中	中	中	少	中	甚	多

* 試料No.1~6は2反復の平均値を示した。

** 土壌300mlあたりのホウコナダニ成若虫数が、1~10頭:少、10~100頭:中、100~500頭:多、500頭~:甚。

第6表 2010～2011年にホウレンソウ圃場の土壌から新たに発見されたヤドリダニ類

Order Mesostigmata (トゲダニ目)
Cohort Gamasina (ヤドリダニ団)
Gamasina sp. *
Family Ascidae (マヨイダニ科)
Ascidae sp.5 **
Family Parasitidae (ヤドリダニ科)
Parasitidae sp.1*
Genus <i>Parasitus</i>
<i>Parasitus</i> sp. **
Family Pachylaelapidae (ダルマダニ科)
Genus <i>Pachylaelaps</i> (ダルマダニ属)
<i>Pachylaelaps</i> sp. *

*2010年に発見.

**2011年に発見.

第7表 栽培期間を通じたヤドリダニ類種構成(2010年)

種名	種構成割合(%)					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Gamasina sp.	0	0	0	0	1.9	0
Ascidae sp.1	0	65.4	0.8	17.9	0	0
Ascidae sp.2	74.8	27.8	65.3	34.4	38.1	51.2
<i>Hypoaspis</i> sp.	2.2	0	0	28.1	26.5	37.8
<i>H.queenslandicus</i>	0	0.2	0	4.2	0	0
<i>Macrocheles</i> sp.	0	5.4	32.3	0.7	0	0
Parasitidae sp.1	0.7	0	0	0.2	5.2	0
<i>C.diviortus</i>	0.7	0.5	0.8	12.6	2.6	0.6
<i>Neogamasus</i> sp.1	0	0	0	0.2	0.6	0
<i>Pachylaelaps</i> sp.	0	0	0	0	0.6	0
<i>P.alstoni</i>	0.7	0	0	0	18.7	4.1
<i>P.arboreus</i>	0	0	0	0.1	5.2	0
<i>N.makuwa</i>	0	0.5	0	1.1	0	5.8
Rhodacaridae sp.	20.1	0.2	0	0.1	0	0
不明	0.7	0	0.8	0.2	0.6	0.6
ヤドリダニ類頭数*	69.5	102.5	62.0	206.5	77.5	43.0
ホウコナダニ頭数*	16.0	86.3	50.0	358.5	220.0	102.0

*4月上旬～9月下旬に得られた1調査区(200ml*1反復)あたりの頭数.

第8表 栽培期間を通じたヤドリダニ類種構成(2011年)

種名	種構成割合(%)					
	A1	A2	B1	B2	C1	C2
Gamasina sp.	0	0	0	0	0.7	0
Ascidae sp.1	0.2	0	1.6	21.6	0.4	0
Ascidae sp.2	89.9	98.0	77.7	38.4	42.5	77.2
Ascidae sp.5	0	0	0	0.1		1.8
<i>Hypoaspis</i> sp.	0	0	4.5	8.1	24.5	13.7
<i>H.queenslandicus</i>	0	0	5.7	3.8	0	0
<i>Macrocheles</i> sp.	0	0	2.4	6.1	0.4	0
Parasitidae sp.1	0	0	0	0.1	1.1	0
<i>C.diviortus</i>	0.7	0	0	12.1	21.6	0.5
<i>Neogamasus</i> sp.1	0	0	0.9	0.1	1.5	0
<i>Parasitus</i> sp.	8.9	0	0	0.1	0	0
<i>Pachylaelaps</i> sp.	0	0	0	0	1.8	0
<i>P.alstoni</i>	0	0	0	0.8	3.7	5.0
<i>P.arboreus</i>	0	0	0	0.4	0.4	0
<i>N.makuwa</i>	0.2	2.0	7.1	7.9	0.7	1.8
Rhodacaridae sp.	0	0	0	0	0	0
不明	0	0	0.1	0.6	1.5	0
ヤドリダニ類頭数*	405	249	705	1006	273	219
ホウコナダニ頭数*	400	257	1358	852	957	284

*3月下旬～9月下旬に得られた1調査区(100ml*3反復)あたりの頭数。

第5項 発消長

1. ホウコナダニ

ホウコナダニはいずれの圃場においても4月から6月にかけて密度が高まる傾向が見られた(第1図～第7図)。ただし、2011年のA2圃場では7月に最も密度が高くなった(第2図)。2011年のA1およびB1圃場では9月にも密度の上昇が見られた(第1図、第3図)。2010年のA1、B1およびB2圃場で実施された土壌消毒後には当年中の再発生がほとんど見られなかった(第1図、第3図、第4図)。

2. トビムシ類

トビムシ類はほとんどがツチトビムシ科に属していた。全体として4月～6月に密度が高く、一部の圃場では9月頃にも密度が高まる傾向が見られた(第1図～第7図)。ただし、2011年のA1、A2およびC1圃場においては7月～8月にも密度の上昇が見られた(第1図、第2図、第6図)。土壌消毒を行った直後には発生が確認されなくなったが(第1図、第3図、第4図)、B1およびB2圃場では当年の8月中旬以降から再び密度が上昇した(第3図、第4図)。

3. ヤドリダニ類

ヤドリダニ類は2010年および2011年に出現頻度や発生頭数の多かったAscidae sp.1, Ascidae sp.2, *Hypoaspis* sp., *C. diviortus*, *Macrocheles* sp. およびア

ルストンホコダニの主要6種について(第7表, 第8表), 発消長を調査した。

Ascidae sp.1はA2, B1およびB2圃場で確認されたが、各圃場での発消長に一定の傾向は見られなかった(第2図～第4図)。2010年はA2圃場およびB2圃場で4月上旬から散見され、5月から6月にかけて密度が上昇した後、6月下旬頃まで確認された(第2図、第4図)。2011年はA2圃場では発生が確認されなかった(第2図)。B1圃場で7月を中心として短期間の発生があったが、B2圃場では調査期間を通して確認された(第3図、第4図)。土壌消毒を行った圃場においても当年中に再発し、特にB1圃場では9月に急激な密度上昇が見られた(第3図、第4図)。発生期間を通して幼虫、若虫および成虫が観察された。

Ascidae sp.2はすべての圃場で確認された(第1図～第7図)。C1圃場を除き、6月下旬から9月にかけて発生がピークとなった(第1図～第6図)。土壌消毒を行った圃場では、当年中に消毒前と同等から高いレベルまで密度が急激に回復した(第1図、第3図、第4図)。発生期間のうちほとんどの時期で若虫および成虫が観察されたが、A2, C1およびC2圃場では4月に若虫が確認されなかった(第2図、第6図、第7図)。

Hypoaspis sp.はB1, B2, C1およびC2圃場で確認されたが、各圃場での発消長に一定の傾向は見られな

第9表 ホウレンソウ栽培履歴のない圃場から得られたヤドリダニ類頭数(2010年)

種名	成若幼虫数(土壌200mlあたり)				
	B3	D1	D2	D3	D4
Laelapidae sp.1	0.5	0	0	0	0
Ascidae sp.3	2.0	0	0	0	0
Ascidae sp.4	0	0	0	0	1.0
Parasitidae sp.2	2.0	0	0	0	0
<i>Neogamasus</i> sp.1 *	0.5	0	0	0	0
<i>P.alstoni</i> *	2.0	0	0	0	0
Phytoseiidae sp.	0.5	0	0	0	0
<i>N.makuwa</i> *	0	0	0	0.5	0
不明	0	0	0	0	0.5
ホウコナダニ頭数	1.0	0	0	0	0

*ホウレンソウ圃場と共通の種を示す。

第10表 ホウレンソウ栽培履歴のない圃場から得られたヤドリダニ類頭数(2011年)

種名	成若幼虫数(土壌100mlあたり)				
	A3	B3	C3	D1	D2
Laelapidae sp.2	0.7	1.3	0.7	0	0.3
Ascidae sp.2 *	0	0	2.0	0	0
Ascidae sp.5	0	0	1.7	0	0
Ascidae sp.6	0	0	0.3	0	0
<i>Hypoaspis</i> sp. *	0	0.3	0	0	0
<i>Neogamasus</i> sp.3	0	0.3	0	0	0
<i>P.alstoni</i> *	0	2.0	0	0	0
<i>N.makuwa</i> *	0.3	0.3	0.7	0.7	0
ホウコナダニ頭数	4.0	3.0	2.0	3.3	0

*ホウレンソウ圃場と共通の種を示す。

第11表 ホウレンソウ栽培履歴のない圃場から発見されたホウレンソウ圃場と非共通のヤドリダニ類(2010~2011年)

Subclass Acari (ダニ亜綱)
Order Mesostigmata (トゲダニ目)
Family Ascidae (マヨイダニ科)
Ascidae sp.3
Ascidae sp.4
Ascidae sp.5
Ascidae sp.6
Family Laelapidae (トゲダニ科)
Laelapidae sp.1
Laelapidae sp.2
Family Parasitidae (ヤドリダニ科)
Parasitidae sp.2
Genus <i>Neogamasus</i>
<i>Neogamasus</i> sp.3
Family Phytoseiidae (カブリダニ科)
Phytoseiidae sp.

第12表 栽培期間を通じたヤドリダニ類水平分布(2010年, B2圃場)

種名	成若幼虫数(4月上旬~9月下旬)			
	調査区1	調査区2	調査区3	調査区4
Ascidae sp.1	30	35	42	41
Ascidae sp.2	88	76	53	67
<i>Hypoaspis</i> sp.	47	76	43	66
<i>H.queenslandicus</i>	20	6	4	5
<i>Macrocheles</i> sp.	6	0	0	0
Parasitidae sp.1	0	0	0	2
<i>C.diviortus</i>	14	12	45	33
<i>Neogamasus</i> sp.1	0	0	0	2
<i>P.arboreus</i>	0	1	0	0
<i>N.makuwa</i>	5	3	1	0
Rhodacaridae sp.	1	0	0	0
不明	0	0	0	2
合計	211	211	189	216
ホウコナダニ頭数*	316	396	489	233

*4月上旬~9月下旬に得られた全頭数。

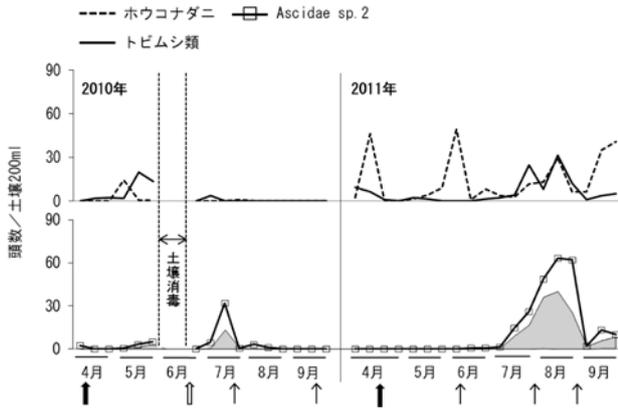
第13表 ヤドリダニ類垂直分布(2010年, 6月下旬~9月下旬, B2圃場)

種名	種構成割合(%)		
	深度 0~5cm	深度 5~10cm	深度 10~15cm
Ascidae sp.1	27.0	8.3	7.2
Ascidae sp.2	48.5	50.4	49.4
<i>Hypoaspis</i> sp.	16.9	24.1	16.9
<i>H.queenslandicus</i>	1.6	15.0	25.3
<i>Macrocheles</i> sp.	0.7	0	0
<i>C.diviortus</i>	2.6	0.8	0
<i>Neogamasus</i> sp.1	0.3	0	0
<i>N.makuwa</i>	0.7	0	0
不明	1.6	1.5	1.2
ヤドリダニ類頭数*	307	133	83
ホウコナダニ頭数*	189	10	17

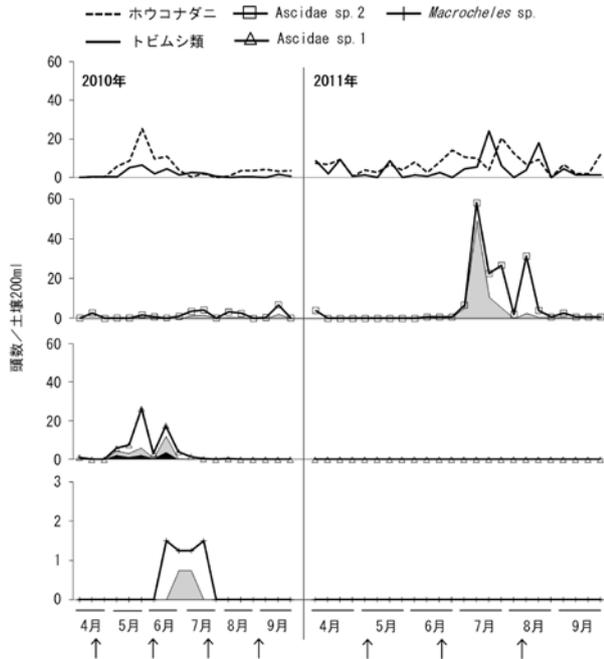
*6月上旬~9月下旬に得られた全頭数。

かった(第3図, 第4図, 第6図, 第7図)。B1圃場では2011年に8月から9月を中心とした短期間の発生があり, 9月上旬にピークとなった(第3図)。4月上旬から高密度で発生が確認された2010年のB2圃場では, 土壌消毒後は当年中の再発生が見られなかったが, 翌2011年は調査期間を通して断続的に確認され, 9月中旬にピークとなった(第4図)。C1およびC2圃場では両年ともに調査期間を通して断続的に確認され, 6月下旬から7月上旬に発生がピークとなった(第6図, 第7図)。発生期間を通して若虫および成虫が観察された。

Macrocheles sp. はA2, B1およびB2圃場で確認され, 6月から7月にかけてピークが見られた。2011年のB2圃場では調査開始時から密度が高かった(第2図, 第3



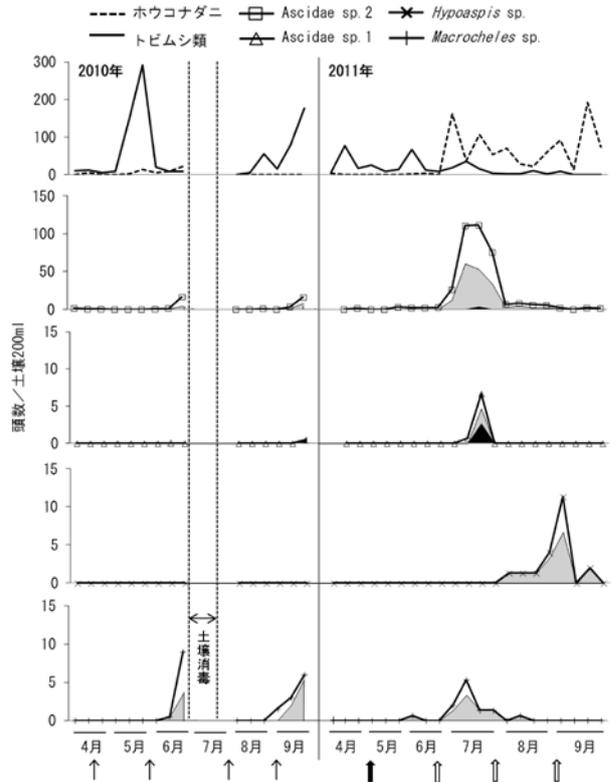
第1図 土壤動物の発生活消長 (A1 圃場).
 矢印は耕起および播種を示し、黒矢印；播種時 DCIP 粒剤処理、白矢印；その他土壤施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫の推移を網掛けで示す。



第2図 土壤動物の発生活消長 (A2 圃場).
 矢印は耕起および播種を示す。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗りです。

図、第5図)。土壤消毒を行った圃場でも当年中の再発が確認された(第3図、第5図)。発生期間を通して若虫および成虫が観察された。なお、得られたおよそ350頭の成虫はすべてが雌であった。

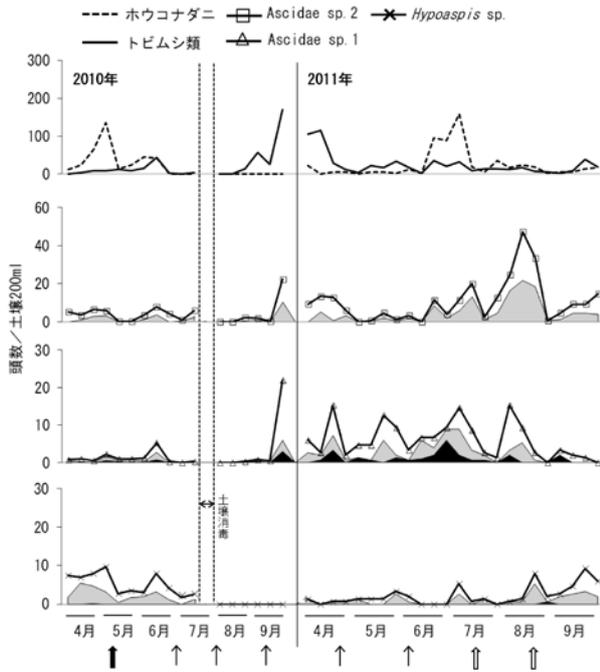
Cyctogamasus diviortus は B2 および C1 圃場において確認された。他種に比較して幼虫の密度が高かったが、両圃場での発生活消長には一定の傾向は見られなかつ



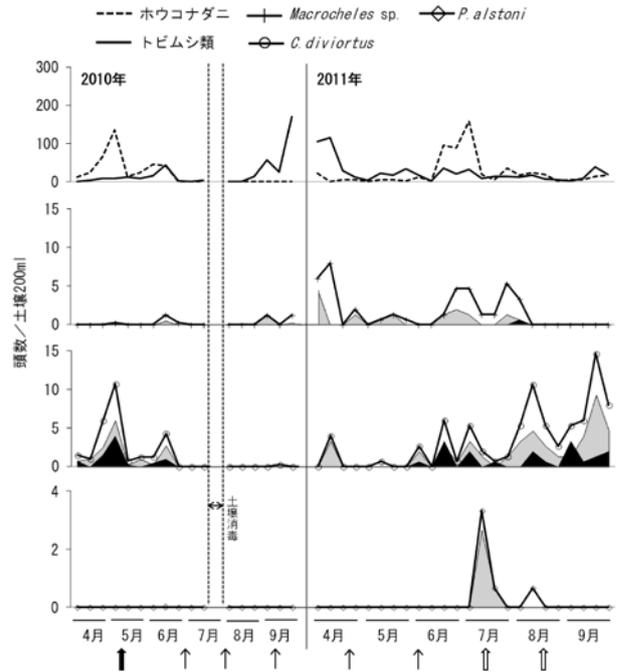
第3図 土壤動物の発生活消長 (B1 圃場).
 矢印は耕起および播種を示し、黒矢印；播種時 DCIP 粒剤処理、白矢印；その他土壤施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗りです。

た(第5図、第6図)。両年も4月から発生が見られた B2 圃場では、2010年は6月下旬まで断続的に確認されたものの、土壤消毒後は当年中の発生がほとんど見られなかった。2011年は6月下旬以降に密度が上昇する傾向が見られ、9月下旬にピークとなった(第5図)。2011年の C1 圃場では6月に入って密度が急激に上昇し、8月下旬まで確認された(第5図)。発生が少なかった2010年の C1 圃場を除き、発生期間を通して幼虫、若虫および成虫が観察された。

アルストンホコダニは B2、C1 および C2 圃場において確認されたが、各圃場での発生活消長に一定の傾向は見られなかった(第5図～第7図)。C1 圃場において2010年は栽培期間を通して断続的に発生したが、2011年は4月上旬から8月上旬まで発生が認められなかった(第6図)。B2 および C2 圃場では散発的な発生であった(第5図、第7図)。発生期間を通して若虫および成虫が観察された。



第4図 土壤動物の発生活長 (B2 圃場 -1).
 矢印は耕起および播種を示し、黒矢印；播種時 DCIP 粒剤処理、白矢印；その他土壤施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗り以示す。



第5図 土壤動物の発生活長 (B2 圃場 -2).
 矢印は耕起および播種を示し、黒矢印；播種時 DCIP 粒剤処理、白矢印；その他土壤施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗り以示す。

第6項 被食-捕食関係の推定

それぞれのヤドリダニ類の発生活期間において、前回調査日 (t-1) から基準調査日 (t) までのホウコナダニおよびトビムシ類の増減と、基準調査日 (t) から翌調査日 (t+1) までのヤドリダニ類増減を解析したところ、いずれの組み合わせにおいても、5% 以下の有意水準で相関関係は認められなかった。

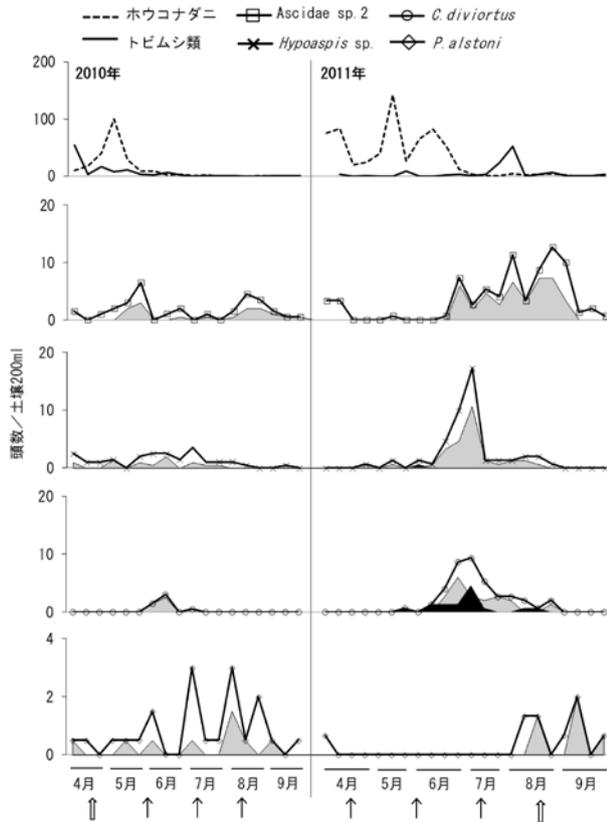
一方、基準調査日 (t) から翌調査日 (t+1) までの各土壤動物の密度変動を解析したところ、ホウコナダニの増減と Ascidae sp.1, Ascidae sp.2, Macrocheles sp., C. diviortus およびアルストンコナダニの増減との間に相関関係は見られなかったが、Hypoaspis sp. との間 ($r = 0.403, n=92, p<0.01$) では、有意に正の相関が認められた (第8図)。また、トビムシ類の増減と Ascidae sp.1, Ascidae sp.2, Hypoaspis sp., C. diviortus およびアルストンコナダニの増減との間に相関関係は見られなかったが、Macrocheles sp. との間 ($r=0.436, n=36, p<0.05$) では、有意に正の相関が認められた (第9図)。

第4節 考察

第1項 ホウレンソウ圃場に発生するヤドリダニ類の特徴

2009年から2011年にかけて行った調査によって、ホウレンソウ圃場におけるヤドリダニ相はある程度共通していることが明らかとなった (第5表, 第7表, 第8表)。一方、直近にホウレンソウ栽培履歴がない圃場においては、ホウレンソウ圃場では確認されなかった4科9種が得られたことから (第11表)、発生するヤドリダニの種類はホウレンソウ栽培の有無で大きく異なることが明らかとなった。

この要因として、ホウレンソウ栽培下の土壤条件が強く影響していると推察された。ホウレンソウ圃場においてはホウコナダニが高密度で発生することに加え、1作の栽培期間が30~40日程度と短く、耕起によって頻りに個体群の攪乱が行われること、発芽揃い以降は灌水を抑えた管理を行うことなど、土壤条件が他作物栽培下と大きく異なる。このため、ホウレンソウ圃場で確認されたヤドリダニ類は、土壤に共通して存在するホウコナダニを餌として利用する可能性が高いだけでなく、ホウレンソウ圃場特有の土壤条件下において生存に適した種である可能性が考えられた。



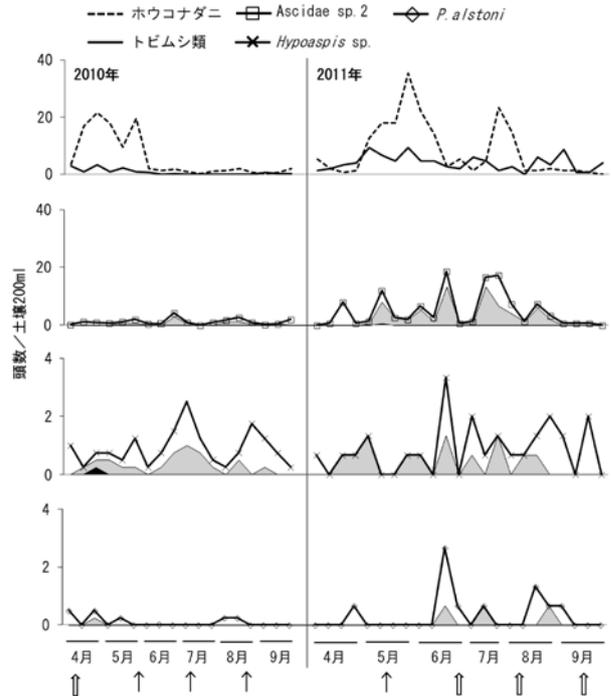
第6図 土壌動物の発生活長 (C1 圃場)。

矢印は耕起および播種を示し、白矢印；DCIP 粒剤以外の土壌施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗り以示す。

また、本研究では土壌中のホウコナダニ密度が同程度の圃場でもヤドリダニ類の発生量に差が見られ、同一の生産者が管理する圃場間においても種構成が大きく異なることが明らかとなった (第5表, 第7表, 第8表)。このため、特定のヤドリダニ類が発生する要因は、前述したホウレンソウ圃場特有の土壌条件の他にも複数存在するものと推察された。

第2項 土壌消毒の影響

土壌消毒後は当年中のホウコナダニ再発生がほとんど見られなかったことから、いずれの圃場においても処理は適正に行われ、消毒効果は高かったものと考えられる。しかし、トビムシ類, *Ascidae* sp.1, *Ascidae* sp.2 および *Macrocheles* sp. は当年中に密度が回復したことから、これらの土壌動物の発生に対する消毒の影響は一時的であると考えられた (第1図, 第3図, 第4図)。土壌消毒に用いたカーバムナトリウム塩液剤は、土壌中



第7図 土壌動物の発生活長 (C2 圃場)。

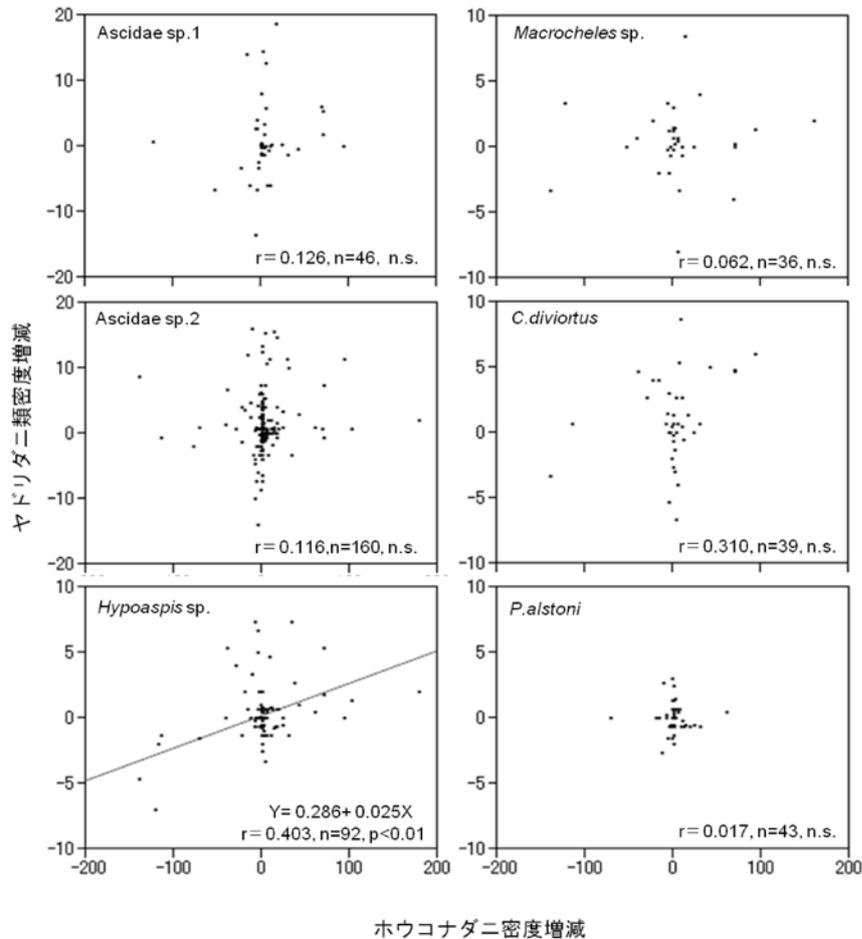
矢印は耕起および播種を示し、白矢印；DCIP 粒剤以外の土壌施用殺虫剤処理である。ヤドリダニ類は全生育ステージの推移を実線で、そのうち若虫および幼虫の推移をそれぞれ網掛けおよび黒塗り以示す。

で分解されて有効成分メチルイソチオシアネートが気化し、ガス体となって拡散することで殺虫効果を発揮する。しかし、温度条件 20℃での比重が 1.07 と空気とほぼ同等であるため、薬剤が注入される深度約 15cm より深い土壌の層へ拡散することはほとんどないと考えられる。以上から、カーバムナトリウム塩液剤を用いた土壌消毒は表層に生息する土壌動物に対して大きな影響があるが、より深い土層や圃場外で残存した個体が、消毒後に表層土壌へ移動または侵入することで再発生が起これると考えられた。

しかし、*Hypoaspis* sp. および *C. diviortus* では土壌消毒後に当年中の発生がほとんど確認されなかったことから (第1図, 第3図, 第4図)、速やかな密度回復が見られた種に比較してメチルイソチオシアネートに対する感受性が高いことや、消毒後の移動が少ないことが考えられた。なお、土壌消毒を含め、化学農薬の影響については第6章で詳しく論じる。

第3項 季節消長

調査対象とした6種はいずれも圃場間で発生活長に



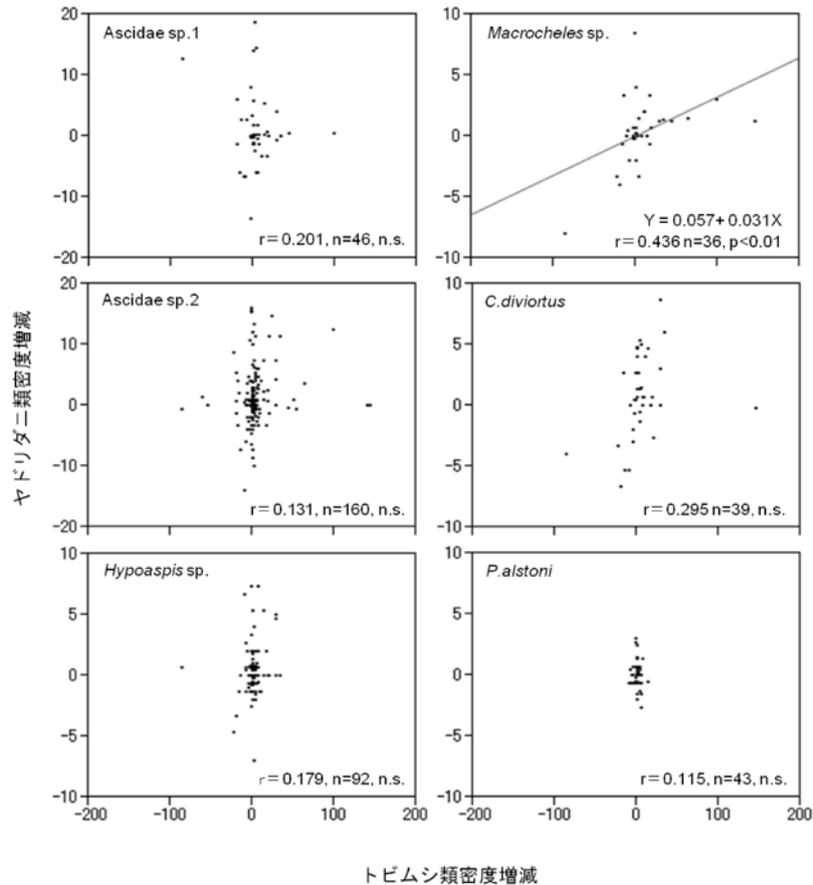
第8図 基準調査日から翌調査日におけるホウコナダニ-ヤドリダニ類間の密度増減の関係。各ヤドリダニ類の発生期間において、基準調査日 (t) から翌調査日 (t+1) までの各土壌動物密度の変動を、一次関数の傾き $\{y(t+1) - y(t)\} / \{x(t+1) - x(t)\}$ でもって表した。耕起前-耕起後の傾きは解析から除外した。なお、Holm法を適用して多重比較の補正を行った。相関関係の見られた組み合わせには回帰直線を示した。n.s.は有意水準5%以下で相関関係が認められないことを示す。

差異があったものの、調査した全期間で未成熟個体の発生が確認されたことから、少なくとも4月から9月の間に休眠(夏眠)する種はないと考えられた。また、1年の間に数世代を経過するものと考えられた(第1図~第7図)。

*Ascidae sp.2*は6月下旬以降に密度が上昇し最大のピークを示す傾向が見られた(第1図~第5図,第7図)。例外的に6月以前に最大のピークがあった2010年のC1圃場では、8月上旬から密度が上昇傾向にあったものの、8月中旬に行われた耕起の影響によりそれ以降の増加が抑制されたものと考えられた(第6図)。以上のことから、施設栽培ホウレンソウ圃場においては夏季が本種の発生に好適であると推察された。

*Macrocheles sp.*は発生期間が比較的短いことや、土

壤消毒後も速やかに密度が回復したことから、断続的に侵入、繁殖、分散を繰り返しているものと考えられた(第2図,第3図,第5図)。試験期間中は野積み堆肥などの投入は行わなかったため、有機物とともに人為的に搬入された可能性は低く、ダニ自体が圃場内外から歩行などによって表層土壌へ侵入したものと考えられる。ハエダニ属にはハエ類や甲虫などの節足動物に便乗し移動する種が存在することが知られている(Takaku et al., 1994)。ホウレンソウ圃場には種子や根を加害するタネバエ *Delia platura* (Meigen) (ハナバエ科) が広く発生するが(青木・柳瀬, 2004)、北海道の野外における本種の1回目の発生ピークは5月中旬から6月上旬であることから(岩崎ら, 2006)、*Macrocheles sp.*の初発時期とほぼ一致する。このため、ホウレンソウ圃場に侵



第9図 基準調査日から翌調査日におけるトビムシ類－ヤドリダニ類間の密度増減の関係。各ヤドリダニ類の発生期間において、基準調査日 (t) から翌調査日 (t+1) までの各土壌動物密度の変動を、一次関数の傾き $\{y(t+1) - y(t)\} / \{x(t+1) - x(t)\}$ でもって表した。耕起前－耕起後の傾きは解析から除外した。なお、Holm法を適用して多重比較の補正を行った。相関関係の見られた組み合わせには回帰直線を示した。n.s. は有意水準5%以下で相関関係が認められないことを示す。

入するハエ類への便乗も経路の一つとして推測された。なお、2011年のB2圃場においては調査開始直後から発生が確認されたため、圃場内での越冬があったと考えられる(第5図)。

これ以外の種では各圃場での発生に明瞭な傾向が見られなかった。少なくとも施設栽培ホウレンソウの土壌条件下においては、一定の季節消長を持たず、個体群動態は餌の量や他種との競合、温湿度や土壌の状態など様々な要因によって決まっていると考えられた。

第4項 被食－捕食関係の推定

一般的に捕食性天敵の密度は、被食者の増減にやや遅れて推移するとされている(ベゴンら, 1996)。しかし、本研究ではホウコナダニおよびトビムシ類の増減とヤドリダニ類の増減の間にタイムラグは見られなかった。ヤドリダニ類は一般に発育所要期間が短く(伊戸, 1978 ;

Krantz and Walter, 2009)、例えばハエダニ科の普通種であるハエダニでは、雌成虫1頭を好適な条件下で飼育すると4日間でおおよそ33倍まで個体数が増加することが確認されている(Ito, 1973a)。また、ヤドリダニ科の普通種であるケプトヤドリダニ *Parasitus gregarius* Itoの発育期間も短く、27℃では卵、幼虫、第1若虫期をそれぞれ1日で経過し、早ければ6日程度で成虫化する(Ito, 1973b)。ホウコナダニおよびトビムシ類についても好適な条件下では短期間で発育し、ホウコナダニは25℃では平均12日程度で卵から成虫まで経過し、雌成虫1頭は1日当たり10個以上の産卵を行うことが知られている(伊藤ら, 1999 ; Kasuga and Amano, 2000 ; Shiraishi et al., 2003)。このように、ごく短期間で個体数が変化する微小動物類に対し、本研究では調査間隔が7～10日とやや長かったことや、耕起により個体群が頻りに攪乱されたことから、被食－捕食関係にあ

る土壌動物間でも両者の見かけ上の密度変動からは時間差が観察されにくかったものと考えられた。

基準調査日 (t) から翌調査日 (t+1) の密度増減を用いた相関分析では、*Hypoaspis* sp. はホウコナダニと、*Macrocheles* sp. はトビムシ類と同調した密度変動をすることが示され (第 8 図, 第 9 図), それぞれを主要な餌として利用している可能性が高いと考えられた。一方, *Ascidae* sp.1, *Ascidae* sp.2, *C. diviortus* およびアルストンホコダニでは, ホウコナダニおよびトビムシ類との密度変動の同調は示されず, これらを餌として利用しているかは不明であった。しかし, 本研究においては耕起などの人為的な影響が大きく, 種によっては捕獲個体数が少なかったことから, 被食者-捕食者間の明らかな同調を検出するのは難しい条件下であったと考えられる。

また, 本研究では生育ステージを区別せずにホウコナダニおよびトビムシ類を計数したため, 実際には捕食性のヤドリダニ類であっても, 餌として利用不可能なサイズまで生育ステージの進んだ個体が多く混在していた場合は, それらの密度変動に影響されて相関関係が不明瞭になる可能性があると考えられた。ホウコナダニ雌成虫の体長は 0.4 ~ 0.7mm であるが (中尾・田神, 2009), 今回解析を行った 6 種のヤドリダニ類雌成虫についてホウコナダニと体長を比較すると, (1) より小型 (背板長 0.25 ~ 0.3mm) の *Ascidae* sp.1 および *Ascidae* sp.2, (2) 同程度 (背板長 0.5 ~ 0.7mm) の *Hypoaspis* sp., *C. diviortus* (Hennessey and Farrier, 1989), およびアルストンホコダニ (Ishikawa, 1980), (3) より大型 (0.8mm) の *Macrocheles* sp., の 3 つに区分することができる。特に小型のヤドリダニ類については, 雌成虫であってもホウコナダニ雌成虫の体長の 1/2 程度であるため, 生育ステージが進んだ大型のホウコナダニおよびトビムシ類に対する捕食は困難であると推測された。また, たとえ大型のヤドリダニ類であっても, 幼虫および若虫期には捕食可能な餌動物の生育ステージが限られると推測できる。以上から, 被食者の生育ステージを区分した調査を行って, ヤドリダニ類が実際に捕食可能なサイズの被食者との密度変動の相関を解析することで, より詳細な関係が明らかにできるものと考えられた。

また, ホウコナダニおよびトビムシ類との間に密度増減の相関関係が見られなかったヤドリダニ類は, これらの両者, もしくは他の土壌動物も同程度に選好するジェネラリスト (広食性) 捕食者である可能性も考えられた。ジェネラリスト捕食者は特定の被食者密度と強い関係を持たないため (Koss et al., 2004; Koss and

Snyder, 2005; Moreno et al., 2010), 本研究で行った被食者との 1 対 1 の解析で捕食関係を明らかにすることは困難であると考えられた。それぞれホウコナダニおよびトビムシ類を捕食すると推測した *Hypoaspis* sp. および *Macrocheles* sp. についても, 被食者密度との相関関係は緩やかであったことから, 餌として他の土壌動物も利用している可能性があると考えられた。

生物農薬として捕食者を活用する場合, ジェネラリスト捕食者は対象害虫が全く存在しない場合でも他の餌種を捕食することで密度を維持することができることから, スペシャルリスト捕食者より有利であると考えられる部分もある。本研究においてホウコナダニおよびトビムシ類との関係が不明瞭であったヤドリダニ類についても, 実際の捕食能力が否定されということではないため, 以降の章では, *Hypoaspis* sp. および *Macrocheles* sp. を含め, 詳細な室内試験によって餌種を明らかにし, ホウコナダニの持続的な個体群制御への活用を検討することにした。

第3章 土着ヤドリダニ類の記載

第1節 緒言

トゲダニ目は3亜目7団6亜団25上科に分類される (Krantz and Walter, 2009; 安倍ら, 2009). 中でも、捕食性の種は主に4亜団10上科を含むヤドリダニ団に属している. 本邦では、ヤドリダニ団のうちカブリダニ科は比較的研究が進んでおり、記載分類はほぼ終了しているが (江原, 2003), 多くの分類群では既知種数よりも未知種数が多いと推定されており (江原 2003; 石川・高久, 2003), 分類学的研究は不十分である. 実際に、第2章でハウレンソウ圃場において確認されたヤドリダニ類16種のうち、少なくとも6種が未記録であった. 特に *Ascidae* sp.1, *Ascidae* sp.2 および *Rhodacaridae* sp. は、種としてだけでなく属としても本邦において未記録であると考えられる. 種の同定および記載はヤドリダニ類の利用に関する研究を推進する上でも重要であることから、ハウレンソウ圃場から得られた種のうち、*Ascidae* sp.2, *Hypoaspis* sp. および *Macrocheles* sp. について、分類形質や生殖方法などを調査し、種の同定を行った.

第2節 材料および方法

第1項 *Ascidae* sp.2

2010年に北海道内の施設栽培ハウレンソウ圃場 (第2表) から採集した以下の *Ascidae* sp.2 の個体を供試した.

雌: 東神楽町において4月6日に採集した4個体, 4月16日に採集した4個体, 4月19日に採集した3個体, 4月28日に採集した8個体, 5月7日に採集した5個体および5月17日に採集した6個体の計9個体.

雄: 東神楽町において9月6日に採集した2個体および10月1日に採集した1個体. また、比布町において7月15日に採集した1個体および9月8日に採集した1個体の計9個体.

第2項 *Hypoaspis* sp.

2009年に北海道内の施設栽培ハウレンソウ圃場 (第1表) から採集した以下の *Hypoaspis* sp. 個体を供試した.

雌: 東神楽町において10月1日に採集した1個体, 東川町において10月1日に採集した6個体, および旭川市において10月5日に採集した2個体の計9個体.

雄: 東神楽町において10月1日に採集した3個体,

10月1日に東川町において採集した4個体および10月5日に旭川市において採集した1個体. また、10月26日に恵庭市において採集した1個体 (採集者: 岩崎暁生) の計9個体.

第3項 *Macrocheles* sp.

2010年に北海道内の施設栽培ハウレンソウ圃場 (第2表) から採集した以下の *Macrocheles* sp. 個体を供試した.

雌: 東神楽町において6月15日に採集した4個体, 6月22日に採集した2個体, 8月30日に採集した2個体, および9月21日に採集した3個体の計11個体.

雄: なし.

第4項 分類形質調査

前述のヤドリダニ類3種について、1個体ずつ Hoyer 氏液を用いてスライドグラスに封入するか、観察を容易にするため実体顕微鏡下で柄付針を用いて解剖した後、Hoyer 氏液またはポリビニルアルコール (PVA) (Danielsson, 1984) にて封入した. 光学顕微鏡下で分類形質として重要な背板毛、背板、腹肛板、鉗角担精指などの形態を観察し、長さを計測して記録した. 計測値の単位は μm であり、括弧内に平均値および標準偏差値を示した. なお、一部の形態の計測については北海道教育大学教育学部教授・高久 元博士に依頼した. 背板毛の毛式は Lindquist and Evans (1965) に従った. その他の分類形質は Evans and Till (1966) に従った.

また、*Macrocheles* sp. については単為生殖様式を調査した. すなわち、Kasuga and Honda (2006) に準じた小型の飼育容器 (直径8mm × 高さ3mm) において本種の雌成虫を個体飼育し、餌としてホウコナダニを十分量与えて温度20°C、湿度99%、暗黒条件下で飼育して産仔させた. 得られた2世代目の未交尾個体が産仔した3世代目の成虫について、実体顕微鏡下で観察し性別を判定した.

第3節 結果

第1項 *Ascidae* sp.2

雌: 背面 (第10図): 胴体部の長さは233.3 – 257.0 (245.0 \pm 4.8) であり、前背板と後背板の2枚に分かれる.

前背板上には17対の単純毛を持つ. 前背板長は

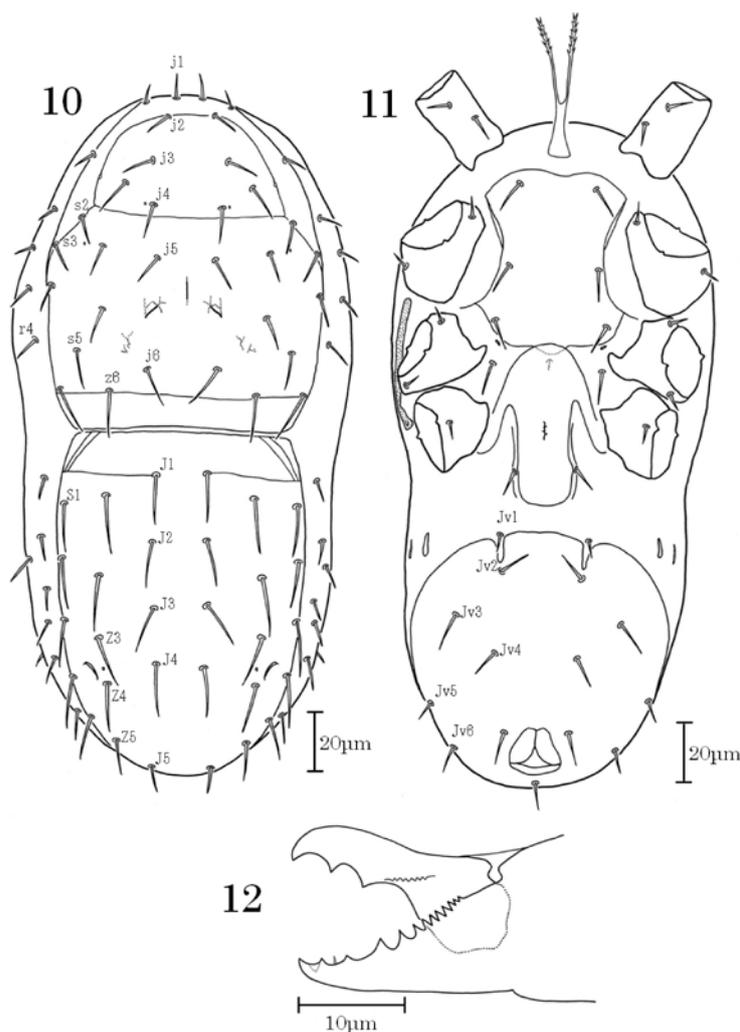
117.0 – 129.4 (122.7 ± 2.5), s3 の位置での幅は 90.0 – 104.6 (97.1 ± 3.5) である。j4 の外側および s2 と s3 の間に小孔を持つ。横断線は j4 の後側に位置する。j5 の後側に網目模様があり、中心部に 1 つと側部に 1 対のより強く硬化した結節を持つ。z6 を通るはっきりとした横断線を持つ。s5 は長さ 14.1 – 18.1 (15.3 ± 0.9) であり、s5 と z6 間の長さ 19.1 – 21.7 (20.4 ± 0.7) より短い。

後背板上には 15 対の単純毛を持つ。後背板長は 116.3 – 127.6 (122.3 ± 2.7), S1 の位置での幅は 82.8 – 95.2 (87.5 ± 3.1) である。S4 の近くに 1 対の小孔状の構造を、Z3 と Z4 の間に小孔を持つ。横断線が後背板の両縁から J1 に向かって伸びる。J3 の長さは J3 – J4 間の距離より短いか同程度である。Z3 の長さは Z3 – Z4 間の距離より明らかに長い。Z5 の長さは J5 より長いかほぼ同等である。その他の背板毛の長さは、J2 が 17.4 – 20.3 (18.7 ± 0.8), J3 が 18.3 – 22.0 (20.4 ± 1.1), J4 が 18.1 – 22.0 (19.8 ± 0.9), J5 が 10.6 – 13.2 (11.8

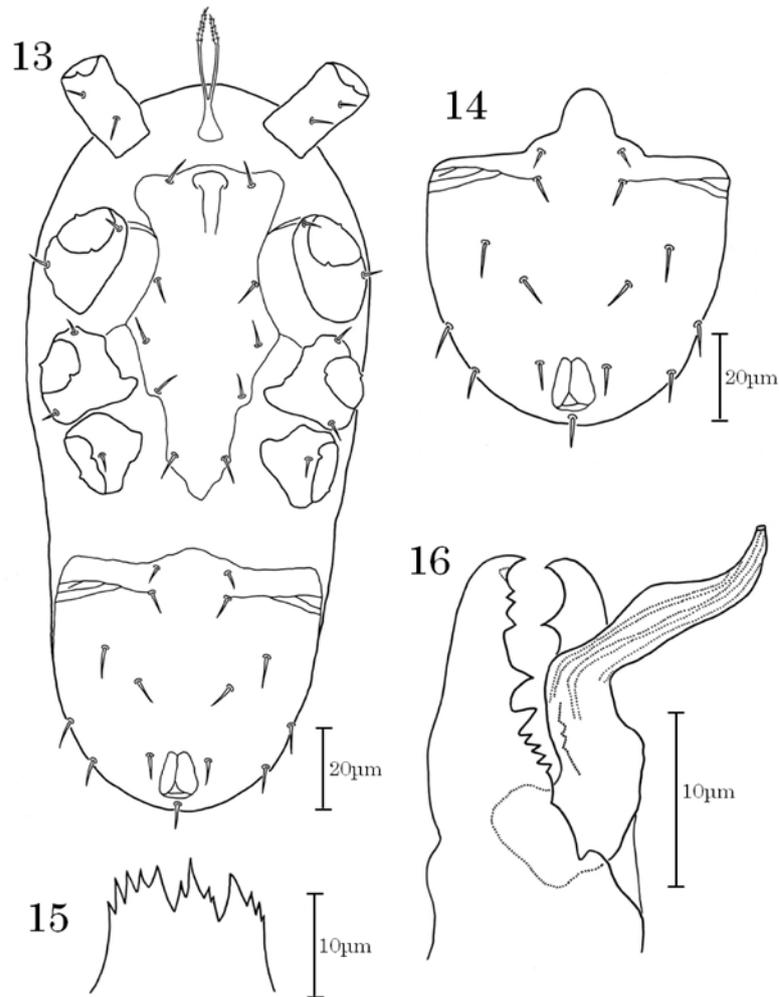
± 0.7 , $n=29$), Z3 が 18.2 – 21.8 (19.6 ± 0.9), Z5 が 12.2 – 14.1 (13.1 ± 0.5) である。また、毛の基部間の距離は J3 – J4 間が 18.8 – 23.8 (21.8 ± 1.2), J4 – J4 間が 16.8 – 23.9 (18.4 ± 1.4), Z3 – Z4 間が 16.6 – 18.9 (18.1 ± 0.5) である。毛の長さおよび基部間の距離は個体変異が顕著である。

腹面 (第 11 図) : 胸板は 3 対の単純毛を持つ。生殖板は後方でやや脹らんだくさび型である。1 対の単純毛が生殖板の上に位置する。腹肛板は長さ 84.4 – 95.9 (90.0 ± 3.0) であり、前縁は Jv2 まで切れ込みがある。6 対の腹肛板毛に加えて 1 対の側肛毛および 1 本の後肛毛を持つ。Jv3 は長さ 9.0 – 13.0 (11.3 ± 1.1) であり、Jv3 – Jv4 間の距離 18.5 – 23.9 (20.6 ± 1.3) より明らかに短い。周気管は r4 に達する。

顎体部 : 3 対の口下片毛, 1 対の歯列体側毛を持つ。すべて単純毛である。7 列の歯列帯を持つ。触肢端体は二分岐となる。顎体突起は基部が 3 つに分かれた多座配置性であり、鋸歯状である。小角は細い。鋏角可動指は



第 10 図～第 12 図 *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot) 雌成虫,
第 10 図 ; 背面, 第 11 図 ; 腹面, 第 12 図 ; 鋏角.



第13図～第16図 *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot) 雄成虫，
第13図；腹面，第14図；腹肛板変異，第15図；顎体突起，第16図；
鉗角担精指。

2つの大きな歯を持ち，基部側の半分に小さな7つの歯が並んだ1歯列を持つ。固定指は5つの歯と，近接した小さな7つの歯を持つ。棘は短い(第12図)。

脚：すべての脚に歩体および爪を持つ。第IV脚腿節の後背側毛pdおよび後側毛plは比較的ずんぐりした棘のようであり，第2脚から第4脚の跗節には根元がやや太い先細の毛を持つ。第IV脚跗節の後側毛pl2とpl3は先の丸いやや太い毛となる。脚の毛式は以下の通りである(腿節；膝節；脛節の順)。

第1脚：2, 3/1, 2/2, 2；2, 3/2, 3/1, 2；2, 3/2, 3/1, 2

第2脚：2, 3/1, 2/2, 1；2, 3/1, 2/1, 2；2, 2/1, 2/1, 2

第3脚：1, 2/1, 1/0, 1；2, 2/1, 2/0, 1；2, 1/1, 2/1, 1

第4脚：1, 2/1, 1/0, 1；2, 2/1, 3/0, 0；2, 1/1, 3/1, 1

雄：背面：胴体部背側は2枚の背板に分かれ，背板の形状，模様，背板毛の形態は雌と同様である。胴体部の長さは187.7–208.8 (196.6 ± 7.8) である。前背板の

長さは98.6–110.5 (104.0 ± 4.4)，s3の位置での幅は77.9–87.4 (83.2 ± 3.6)，J4の長さは14.5–16.4 (15.3 ± 0.7) であり，J4基部間の長さ13.0–14.8 (14.0 ± 0.8) よりも長いとか同等程度である。その他の背板毛の長さは，J2が14.4–16.0 (14.8 ± 0.7)，Z3が13.9–16.3 (15.6 ± 1.0)，Z5が10.6–11.4 (10.9 ± 0.3) である。毛の長さおよび基部間の距離には個体変異が顕著である。

腹面(第13図)：腹面は胸生殖板および腹肛板の2つに覆われる。胸生殖板は胸板領域に3対の，生殖板領域に2対の単純毛を持つ。腹肛板は長さ65.3–78.4 (71.7 ± 5.6) であり，6対の腹肛板毛，1対の側肛毛，1本の後肛毛を持ち，すべて単純毛である。腹肛板前縁の形態は個体間で大きな差が見られる(第14図)。周気管の形態は雌と同じである。

顎体部：顎体突起は基部が3つに分かれた多座配置性であり，鋸歯状である(第15図)。鉗角可動指は2

つの大きな歯を持ち、基部側の半分に小さな3つの歯が並んだ1歯列を持つ。固定指は5つの歯と、小さな4つの歯を持つ（第16図）。脚：雌と同様の毛式を持ち、毛の形態も雌と同様である。

第2項 *Hypoaspis* sp.

雌：背面（第17図）：胴体部背側は1枚の背板で覆われ、背板表面は明瞭な網目模様で覆われる。背板長は408-476 (433.0 ± 22.6)，第2脚基節の位置での幅は217-261 (229.4 ± 13.6)である。背板上には39対の単純毛を持ち、後体部背板毛J系列とZ系列の間に2対の毛(px2, px3)が存在する。背板毛の長さは、j1が15-24 (19.9 ± 3.0, n=7)，j2が21-30 (24.9 ± 3.7, n=7)，j3が25-41 (33.2 ± 4.6)，j4が27-38 (33.0 ± 3.7)，j5が27-30 (33.3 ± 4.2)，j6が30-39 (34.1 ± 3.0)，z1が14-25 (20.1 ± 4.6, n=7)，Z5が49-64 (57.8 ± 4.4, n=8)である。

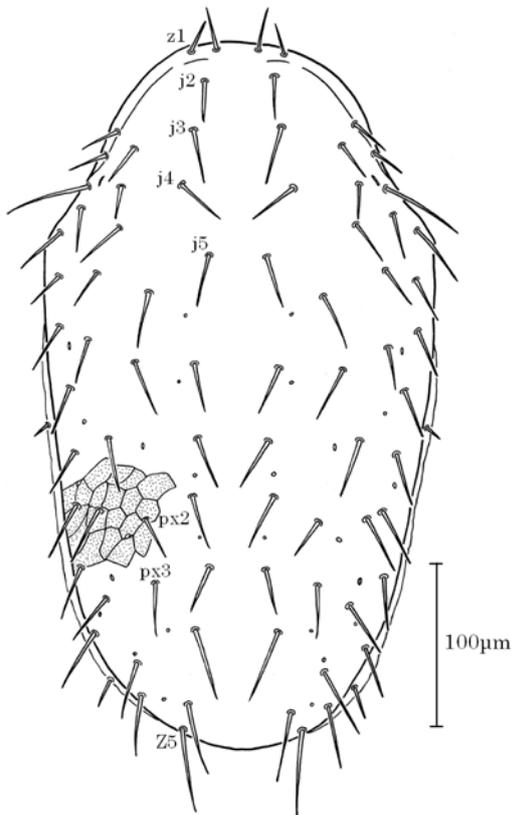
腹面（第18図）：前胸板は硬化せず膜状で、表面に網目模様と小さい顆粒を持つ。胸板表面は網目模様で覆われる。網目模様は明瞭であるが、後端では不明瞭となる。胸板長は107-116 (111.8 ± 2.7)，第2脚基節の位置での幅は77-85 (80.7 ± 2.5)である。胸板上には3対の単純毛と2対の小孔を持つ。後胸板を欠き、1対

の後胸板毛と小孔は胸板後方の膜質部上にある。なお、後胸板毛は単純毛である。生殖板は舌型で表面に網目模様を持つ。生殖板の最大幅は生殖板毛のやや後方にあり、幅は62-83 (68.0 ± 6.6)である。生殖板毛は1対の単純毛で、生殖板の縁にある。肛板は逆三角形状で、長さは65-83 (69.9 ± 6.4)，幅は68-81 (72.3 ± 4.9)であり、1対の側肛毛、1本の後肛毛を持ち、すべて単純毛である。また、肛板表面には網目模様を持つ。後体部腹面には長円形状の後脚板を1対、単純毛を7対持つ。周気管前端は第2脚基節中程に達するに過ぎない。周気管板は脚板と融合せず分離する。

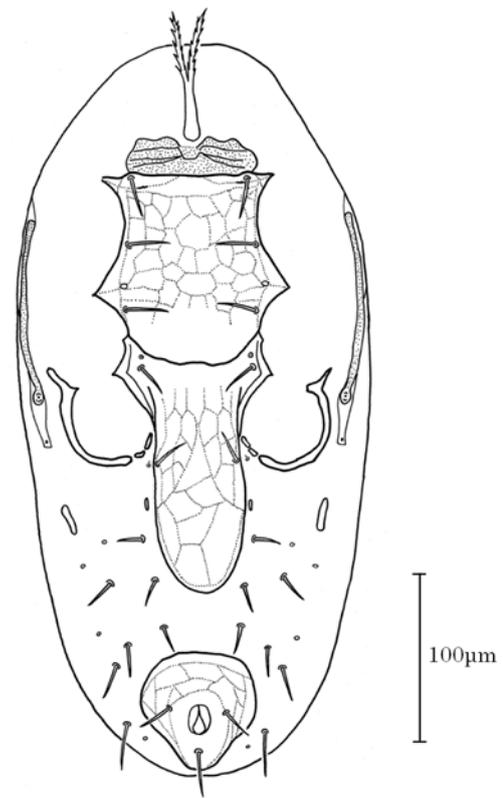
顎体部：3対の口下片毛、1対の歯列帯側毛を持ち、すべて単純毛である。歯列帯には6列の歯列帯を持つ。触肢端体は二分岐となる。顎体突起は鋸歯状である。鋏角固定指には先端近くに1本の棘があり、7または8本の歯を持つ。鋏角可動指は長さが55-57 (55.8 ± 1.3, n=3)であり、大きな2本の歯を持つ。

脚：すべての脚に爪を持つ。第2脚から第4脚の附節には根元がやや太い先細の毛を持つ。なお、第4脚附節の後側毛2本は先の丸いやや太い毛である。脚の毛式は以下の通りである（腿節；膝節；脛節の順）。

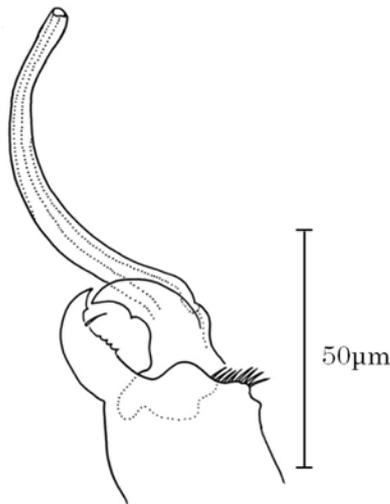
- 第1脚：2, 2/1, 3/3, 2；2, 3/2, 3/1, 2；2, 3/2, 3/1, 2
- 第2脚：2, 3/1, 2/2, 1；2, 3/1, 2/1, 2；2, 2/1, 2/1, 2



第17図 *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann 雌成虫背面。



第18図 *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann 雌成虫腹面。



第19図 *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann 雄成虫鉗角担精指。

第3脚：1, 2/1, 1/0, 1；2, 2/1, 2/1, 1；2, 1/1, 2/1, 1

第4脚：1, 2/1, 1/0, 1；2, 2/1, 3/0, 1；2, 1/1, 3/1, 2

雄：背面：胴体部背側は1枚の背板で覆われ、背板の形状、模様、背板毛の形態は雌と同様である。背板長は335 - 384 (356.6 ± 17.7), 第2脚基節の位置での幅は187 - 208 (195.4 ± 7.5)である。背板毛の数は、px2を欠き38対である場合が多いが、変異が多く、px2, px3ともに持つ場合、両方とも欠く場合、他の背板毛を片側で欠く場合など様々である。

腹面：胸板から肛板の領域までを覆う全腹板を持ち、表面は網目模様で覆われる。網目模様は前方中央で不明瞭となる。全腹板長は282 - 333 (300.7 ± 18.0), 第2脚基節の位置での幅は64 - 76 (70.1 ± 3.7), 第4脚基節後方の位置での幅は113 - 145 (128.9 ± 11.5)である。胸板・後胸板領域に4対の毛、生殖板・腹肛板領域に4対の毛、1対の側肛毛および1本の後肛毛を持ち、すべて単純毛である。後体部腹面には、単純毛を2対持つ。周気管の形態は雌と同じである。

部：顎体部は雌と同様の形態を持つ。鉗角固定指は1本の棘、末端部に1または2本の歯、基部近くに2から4本の歯を持つ。鉗角可動指の担精指は細長く、その長さの変異は大きい(第19図)。可動指の長さは25 - 36 (30.8 ± 3.2), 担精指の可動指の基部から担精指前端までの長さは61 - 82 (72.2 ± 8.0)である。

脚：雌と同様の毛式を持ち、毛の形態も雌と同様である。

第3項 *Macrocheles* sp.

雌：背面(第20図)：胴体部背側は1枚の楕円形

の背板で覆われる。背板長は763.7 - 851.9 (823.3 ± 29.7), r4の位置での幅は471.8 - 547.1 (514.3 ± 23.0)である。背板表面は明瞭な網目模様で覆われる。中央部が後方に湾曲した明瞭な横断線を持つ。28対の背板毛と22対の小孔を持つ。j1基幹は互いに近接しており、先端が枝毛状である。j2, j5, j6, z1, z5, J2は単純毛である。z6, s4, Z3はほとんどの個体で単純毛であるが、z6は1個体で、s4は5個体で、Z3は6個体で、片側もしくは両側の毛の先端でごく僅かに枝毛状である。j4, z4, Z4, Z5, S5はすべての個体で明らかに先端が枝毛状である。J5は全体が枝毛状である。

腹面：又状突起は本属の特徴と同じである。胸板は長さが175.4 - 195.7 (187.5 ± 7.2)であり、明瞭な波状の横断線、アーチ型の線につながった斜めの線、それらの線に伴う点刻、後方の不規則な小明斑で装飾される。胸板上には3対の単純毛と2対の小孔を持つ(第21図)。後胸板には前方に小孔を持ち、後方はなめらかである。生殖板は両側に棍棒状の肥厚部と生殖毛を持ち、後縁が直線状である。一連の点状の線で区切られた多角形の模様を持つ。

腹肛板は逆三角形であり、長さが256.0 - 283.8 (271.3 ± 9.7), 幅が247.0 - 318.1 (285.4 ± 19.3)である。側面に沿って鋭くカーブした点状の線からなる同心円状の模様を持つ。3対の前肛毛を持ち、1対の側肛毛および1本の短い後肛毛を持つ。すべて単純毛である(第22図)。腹肛板の外側に、1対の狭い脚後板がある。周気管は先端が湾曲し、その末端に気門が開口する。

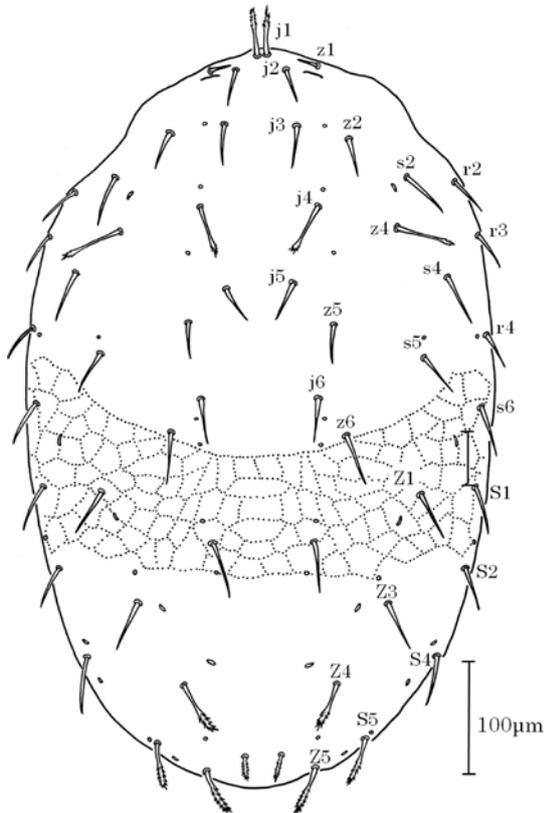
顎体部：3対の口下片毛、1対の歯列帯側毛を持ち、すべて単純毛である。歯列帯は5列である。顎体突起は三又状で、中央突起は先端で2本に分かれ、側葉は上部が幅広で平坦である(第23図)。触肢端体は三分岐となる。鉗角固定指は1つの強固な歯、先端側に1つの小さな歯および棘を持ち、背毛は扁平である。可動指は基部側に1つの大きな二山型の歯、先端側に1つの小さな歯を持つ(第24図)。雌小囊は1対の小囊、2つの明瞭なラムス、細長い角状体と細管を通じてつながる洋ナシ型の受精囊からなる。

脚：本属の典型的な毛式であり、第4脚の膝節は6本の毛を持つ。第1脚は爪および歩帯を欠く。第2脚から第4脚の爪間体の突起は外側と中央部で同等程度の長さである。脚の毛式は以下の通りである(腿節；膝節；脛節の順)。

第1脚：2, 3/1, 2/3, 2；2, 3/1, 3/1, 2；2, 3/2, 3/1, 2

第2脚：2, 3/1, 2/2, 1；2, 3/1, 2/1, 2；2, 2/1, 2/1, 2

第3脚：1, 2/1, 1/0, 1；1, 2/1, 2/0, 1；1, 1/1, 2/1, 1



第20図 *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi 雌成虫背面.

第4脚：1, 2/1, 1/0, 1 ; 1, 2/1, 2/0, 0 ; 1, 1/1, 2/1, 1

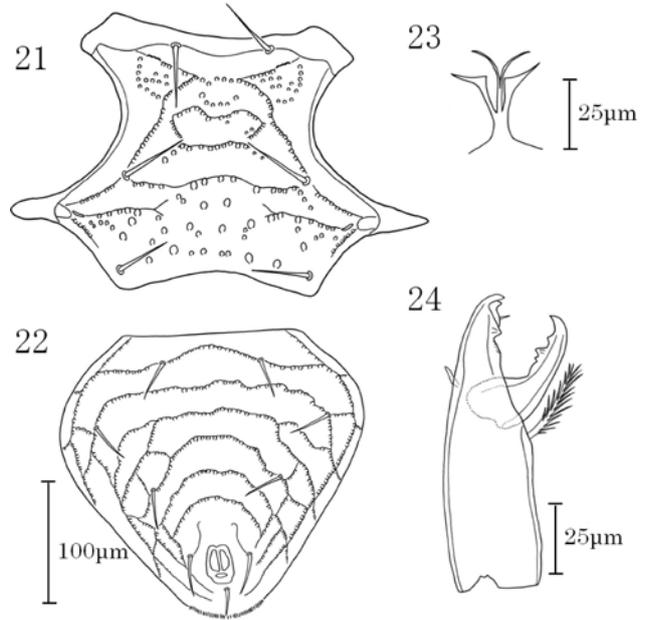
生殖方法：個体飼育により得た2世代目20頭, 3世代目6頭はすべて雌であった。なお, いずれの個体も卵胎生であった。

第4節 考察

第1項 *Ascidae* sp.2

本種は日本で初めての記載となる *Protogamasellus* 属 (マヨイダニ科) の1種, *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot, 1961) と同定された (図版2-B)。なお, 本種の雄の記録は初めてであった。本種の和名をクビレマヨイダニ属クビレマヨイダニと提案する。

Karg (1962, 2007) および Genis et al. (1967) は, *P.mica* と *Protogamasellus primitivus* Karg, 1962 は主に雌の胴体部の長さおよび背板毛の長さの違いによって識別できると述べている。しかしながら, 本種は Evans (1982) が述べるように, これらの特徴の変異が大きく, 本調査において得られた胴体部の長さの範囲はこれまでに記載された *P. mica* および *P. primitivus* の両種と重複した。さらに, 背板毛についても Karg (2007) が記載した *P. mica* および *P. primitivus* の両方の特徴を持つことが明らかとなった。よって, *P. primitivus*



第21図 ~ 第24図 *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi 雌成虫, 第21図; 胸板, 第22図; 腹肛板, 第23図; 顎体突起, 第24図; 鉗角.

はいくつの特徴において幅広い種内変異を持つ *P. mica* のシノニムである可能性が考えられることから, 地理変異を含めた広範囲の研究によって分類を明確にする必要がある。

第2項 *Hypoaspis* sp.

本種は, *Hypoaspis (Gaeolaelaps) kargi* Costa, 1968 に酷似するが, *H. (G.) kargi* は雌の背板毛が38対であり, 周気管の前端が第1脚基節前方まで達する点で本種と区別された。以上のことから, トゲダニ科ホソトゲダニ属の1種 *Hypoaspis* sp. はこれまでに日本で記録のなかった *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann, 1949 と同定された (図版2-C)。現在, 研究者によって属, 亜属の扱いが異なり, *Hypoaspis* 属の下に *Gaeolaelaps* 亜属を置く場合 (Evans and Till, 1966) と, *Gaeolaelaps* 属として扱う場合 (Beaulieu, 2009) がある。本研究では, 従来分類に従い, *Hypoaspis* 属の下に *Gaeolaelaps* 亜属を置くこととした。本種の和名をタンカンホソトゲダニと提案する。

また, *H. (G.) praesternalis* は中国で発見された *Hypoaspis (Gaeolaelaps) postreticulatus* Xu and Liang, 1996 にも酷似している。Xu and Liang (1996) は本種と *H. (G.) postreticulatus* が背板毛の長さおよび雄の鉗角担精指の長さによって識別できるとしている。

しかしながら、本研究において *H. (G.) praesternalis* の背板毛および担精指の長さには大きな個体変異があることが明らかとなった。本種で得られた背板毛および担精指の計測値は *H. (G.) postreticulatus* の特徴として述べられた長さの範囲と重複した。おそらく *H. (G.) postreticulatus* は特定の形態について種内変異の大きい *H. (G.) praesternalis* のシノニムであると考えられるが、*H. (G.) praesternalis* の分類を明確にする上でも地理変異を含め、広範囲で慎重な調査が必要である。

第3項 *Macrocheles* sp.

本種の形態はハエダニ類の普通種であるハエダニに酷似しており、胸板の彫刻がやや薄く、胴長 0.8mm と比較的小型であることを除いては、ほとんどの形態において区別が困難であった。しかし、ハエダニは単為生殖で雄が発生する産雄単為生殖を行うことが知られているにも関わらず、第 2 章の発生活長調査において 2009 年から 2011 年の間に採集された成虫およそ 350 頭のうちすべてが雌であったことから、本種はハエダニと別種の可能性が高いと考えられた。このため、本種の生殖様式を調査したところ、単為生殖で雌が発生する産雌単為生殖を行うことが明らかとなった。以上の形態および生殖様式から、ハエダニ科ハエダニ属の一種 *Macrocheles* sp. はこれまでに日本で記録のなかった *Macrocheles similis* Krantz & Filippini, 1964 と同定された (図版 2-E)。本種の和名をニセハエダニと提案する。

第4章 ホウコナダニ捕食種のスクリーニング

第1節 緒言

本邦では、中松（1958）がハエ類体表からハエダニを見出し、同時に捕食習性について調べたのがヤドリダニ類の捕食に関する最初の研究である。その後、伊戸（1978）によってきゅう肥中でのヤドリダニ類の発生动態などが明らかにされ、害虫捕食能力についても調査された。しかし、海外における研究を含め、対象とする餌動物はハエ類や線虫が主であり、ホウコナダニを捕食するヤドリダニ種についての報告は僅少であった。過去に海外でロビネダニなどの生物的防除に利用されていた *H. (G.) aculeifer* は、近年になってホウコナダニも捕食することが Kasuga et al. (2006) によって明らかにされたが、未だほとんどのヤドリダニ類については詳しい捕食習性が不明である。

第2章において、ホウコナダニが多発する圃場にはヤドリダニ類も多数発生することが明らかとなった。これらの発消長の解析により、ホウコナダニを餌として利用する種の存在が期待されたことから、本章では土壌中に生息するヤドリダニ類にホウコナダニを大量に与え、生物農薬の候補となり得るホウコナダニ捕食種の一次スクリーニングを試みた。

ところで、生産者のほとんどは敷地内において作物残渣を堆積して堆肥を製造しており、一般に養分供給や土壌改良を目的として圃場に施用している。このような野積み堆肥には様々な微小動物が発生することから、多様な捕食性ヤドリダニ類が存在し、ホウレンソウ圃場への供給源にもなっているものと推測される。このため、このような堆肥中の土着ヤドリダニ類についても種構成を調査し、併せてホウコナダニ捕食種の一次スクリーニングを行った。

第2節 材料および方法

第1項 野積み堆肥における発生種

2009年に野菜類生産者JおよびK（比布町）の敷地内において、2008年秋から堆積していた籾殻主体の堆肥約5Lをそれぞれビニール袋に採取し、試料No.19およびNo.20とした。当日中に100mlをツルグレン装置に設置して24時間抽出し、ヤドリダニ類およびコナダニ類を集め分離した。なお、採取月日、試料の状態などは第14表に示した。得られたヤドリダニ類はHoyer氏液を用いスライド標本を作製して同定し、種ごとに若虫および成虫の合計頭数を記録した。なお、一部の標本に

ついては北海道教育大学教育学部教授・高久元博士に同定を依頼した。コナダニ類は標本とせず実体顕微鏡下で観察し、幼虫、第1若虫、第3若虫および成虫の合計頭数を記録した。

第2項 ホウコナダニ捕食種のスクリーニング

2009年10月に北海道内の施設栽培ホウレンソウ圃場15か所（東神楽町、東川町、旭川市、比布町、恵庭市）および上川農業試験場（比布町）の柵圃場2か所から採取した土壌試料No.1～No.17（第1表）、2011年8月にホウレンソウ圃場B2（東神楽町；第3表）から採取した土壌試料No.18、前項の堆肥試料No.19、2009年6月16日に野菜類生産者K（比布町）の敷地内から採取した堆肥試料No.21（第14表）について、採取当日～翌日に約400mlずつ腰高シャーレ（直径120mm×高さ75mm）に充填した。試料に含まれるヤドリダニ類に餌としてホウコナダニを与え、捕食種のスクリーニングを試みた。

餌として用いるホウコナダニの増殖には、乾燥籾殻と水道水を重量比10:1の割合で混和し、ビニール袋内において温度条件20℃で2週間程度静置した籾殻培地を用いた。この籾殻培地を、水を張ったバット内に置いた腰高シャーレに約300ml充填し、2008年に旭川市のホウレンソウ圃場より採取したホウコナダニ個体群の累代飼育系統を接種して、随時霧吹きで水分を与えながら温度条件20℃で十分に増殖させた。以下、この培地をホウコナダニ培地とする。

土壌または堆肥試料を充填した腰高シャーレにホウコナダニ培地を15ml程度加えて混和し、温度20℃、日長16L8Dの条件下で静置した。およそ7日おきにホウコナダニ培地を追加し、3日おきに霧吹きで水分を補給しながら28日～64日間飼育した。ただし、採取時期が他試料と大きく違う試料No.21のみ126日間飼育した。飼育後、50mlをツルグレン装置に設置して、試料が完全に乾燥するまで24～48時間抽出した。得られ

第14表 採取試料概要

採取場所		試料 No.	採取日	採取日の状態	抽出日
市町村	生産者				
比布町	J	19	8/1	前年秋から堆積	8/1
	K	20	7/26	前年秋から堆積	7/26
		21	6/16	前年秋から堆積	—

第15表 堆積物から発見されたハウレンソウ圃場と非共通のヤドリダニ類

Order Mesostigmata (トゲダニ目)
Cohort Gamasina (ヤドリダニ団)
Family Macrochelidae (ハエダニ科)
Genus <i>Macrocheles</i> (ハエダニ属)
<i>Macrocheles penicilliger</i> (Berlese, 1904) (フサゲハエダニ)
Family Veigaiidae (キツネダニ科)
Genus <i>Veigaia</i> (キツネダニ属)
<i>Veigaia uenoi</i> Ishikawa, 1972 (ウエノキツネダニ)

たヤドリダニ類は Hoyer 氏液を用いスライド標本を作製して同定し、種ごとに若虫および成虫の合計頭数を記録した。

第3節 結果

第1項 野積み堆肥における発生種

野積み堆肥の2試料からはトビムシ類やハエ類の幼虫などが多数抽出されたが、コナダニ類は確認されなかった。ヤドリダニ類は5科6種が存在し、そのうちフサゲハエダニ *Macrocheles penicilliger* (Berlese) およびウエノキツネダニ *Veigaia uenoi* Ishikawa (キツネダニ科) の2種が土壌試料と非共通種であった(第15表)。一方、*C. diviortus*, *Neogamasus* sp.1, キノポリホコダニおよび *Rhodacaridae* sp. の4種が土壌試料と共通であった。なお、*C. diviortus* およびキノポリホコダニは供試した両試料から抽出された(第16表)。

第2項 ホウコナダニ捕食種のスクリーニング

ホウコナダニ培地を加え培養した計20試料からは、新たにヤマウチアシボトゲダニ *Hypoaspis (Euandrolaelaps) yamauchii* Ishikawa (図版2-H), ホソゲハエダニ *Macrocheles insignitus* Berlese およびタイヒハエダニ *Macrocheles merdarius* (Berlese) が確認された(第17表)。また、土壌および堆肥の採取直後に見られるヤドリダニ類(第4表, 第6表, 第15表)のうち、6科10種が確認された(第18表)。なお、試料採取直後に発生が確認されていたフサゲハエダニ, *Rhodacaridae* sp. およびウエノキツネダニについては、スクリーニング後には見られなかった。

スクリーニング後の密度が特に高かった種は、ヤマウチアシボトゲダニ, *Ascidae* sp.1, *C. diviortus* であった。なお、試料中にはトビムシや線虫, キノコバエ類など土壌動物の発生も多く見られた。

第4節 考察

本項では、土壌および堆肥試料に含まれるヤドリダニ

第16表 堆積物から得られたヤドリダニ類頭数

種名	成若虫数 (100mlあたり)		
	No.	19	21
<i>M. penicilliger</i>	4	0	
<i>C. diviortus</i>	12	1	
<i>Neogamasus</i> sp.1	9	0	
<i>P. arboreus</i>	1	1	
<i>Rhodacaridae</i> sp.	7	0	
<i>V. uenoi</i>	2	0	

類からホウコナダニ捕食種を絞り込む目的で、ホウコナダニ培地を大量に試料に添加したが、トビムシ類や線虫など、ヤドリダニ類の餌となり得る多様な土壌動物も培地を栄養源として増殖した。このため、ホウコナダニを餌として利用できないヤドリダニ類であっても増殖可能な条件であった。しかし、試料採取時に潜在的に存在していたものの、ツルグレン装置で確認できる密度に達していなかったと考えられるホソゲハエダニ, タイヒハエダニおよびヤマウチアシボトゲダニの3種を新たに確認できたこと(第18表), 試料中のヤドリダニ類密度を実体顕微鏡下で観察可能な程度まで高めることができたことから、本法はホウコナダニを捕食する可能性があるヤドリダニ類を効率よく大量に得る手段として有効であった。

しかし、トゲダニモドキのように採取直後には複数の試料で存在が確認されていても(第5表, 第7表, 第8表), スクリーニング後の密度が各試料で大きく異なる種が存在した(第17表)。トゲダニモドキは、ハウレンソウ圃場において土壌深度が深くなるにつれて構成割合が高くなることから(第13表), 増殖に好適な土壌条件が他種と異なると推測される。このため、試料によってはスクリーニング中の土壌条件, 特に水分条件が増殖に不適であった可能性が考えられた。ハウレンソウ栽培圃場において、土壌は1作の間に多湿から乾燥状態まで水分条件が大きく変化するため、ホウコナダニの持続的な密度制御に用いるヤドリダニ類は、いずれの状態

第17表 スクリーニングによって新たに得られたヤドリダニ類

Order Mesostigmata (トゲダニ目)
Cohort Gamasina (ヤドリダニ団)
Family Laelapidae (トゲダニ科)
Genus <i>Hypoaspis</i> (ホソトゲダニ属)
<i>Hypoaspis (Euandrolaelaps) yamauchii</i> Ishikawa, 1982
Family Macrochelidae (ハエダニ科) (ヤマウチアシボトゲダニ)
Genus <i>Macrocheles</i> (ハエダニ属)
<i>Macrocheles insignitus</i> Berlese, 1918 (ホソゲハエダニ)
<i>Macrocheles merdarius</i> (Berlese, 1889) (タイヒハエダニ)

第18表 スクリーニングによって得られたヤドリダニ類頭数

種名	成若虫数 (50mlあたり)															
	No.	1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	16	17	18	19	21
<i>Ascidae</i> sp.1	0	1	20	0	625	0	0	0	0	107	0	0	24	0	0	
<i>P.mica</i>	0	0	1	0	0	0	1	0	7	2	0	0	2	0	0	
<i>H.praesternalis</i>	0	0	0	5	0	11	0	0	1	0	0	0	2	1	0	
<i>H.queenslandicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	
<i>H.yamauchii</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	
<i>M.insignitus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	
<i>M.merdarius</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>M.similis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	
<i>C.diviortus</i>	24	2	13	30	0	12	0	0	0	0	0	0	5	3	0	
<i>Neogamasus</i> sp.1	13	9	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	19	0	
<i>P.alstoni</i>	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	
<i>P.arboreus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	
<i>N.makuwa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	
培養日数	28	63	64	32	62	62	59	58	62	48	49	49	40	38	126	

*試料No.8, 12, 13, 14, 15からはヤドリダニ類が抽出されなかったため省略した。

も耐えうる種が理想的である。有望種をより効率的にスクリーニングするため、培養中の水分条件などについてさらに詳細に検討する必要がある。

第5章においては、本章で示した手順によって増殖した代表的なヤドリダニ類のホウコナダニ捕食能力を調査して、ホウコナダニの持続的な密度制御に活用できる有望種の絞り込みを行った。

第5章 ホウコナダニ捕食能力

第1節 緒言

現在、本邦において農薬登録されている生物農薬のほとんどは海外からの移入種であるが、近年では在来生物群保全の観点から、生態系を攪乱する心配が少ない日本国内産の土着天敵を生物農薬として採用する動きが見られている (Nakahira et al., 2010 ; Nishikawa et al., 2010; 大井田・上遠野, 2007 ; 大井田ら, 2007)。このため、ホウコナダニ防除を目的とした生物農薬も国内産の生物資源から新たに探索すべきであると考えられる。

第2章および第4章において、施設栽培ホウレンソウ圃場にはその特有の土壌条件下で生存に適し、ホウコナダニを捕食する可能性があるヤドリダニ類が生息することが明らかとなった。これら土着ヤドリダニ類の中から新たな生物農薬となりうる種を探索するため、ホウコナダニに対する捕食能力について調査し、捕食能力の高い種については、異なる温度条件下での捕食能力、ホウコナダニの生育ステージに対する選好性、絶食耐久性などについても明らかにした。

また、ホウコナダニを捕食するヤドリダニ類を生物農薬として利用するためには大量増殖法の確立が必須であり、特に培地や餌資源の安定的な確保は重要な課題である。ホウコナダニは通常、土壌中に生息するため好適な温湿度条件の範囲が狭く (Kasuga and Amano, 2000)、室内での飼育には相応の環境制御施設を要し、個体群の維持管理に係る人的労力も多大である。また、ホウコナダニの生育に最も適した乾燥酵母も飼料としては高価であることから、本種はヤドリダニ類を大量増殖させるための餌資源としては不適であると考えられる。このため、ホウコナダニに比較して容易に増殖する生物を代替餌として利用することがコスト面からも妥当である。このため、本章では、小麦ふすまなどの安価な飼料で効率的に飼育可能なケナガコナダニ *Tyrophagus putrescentiae* (Schränk) を代替餌として累代飼育が可能なヤドリダニ種の絞り込みを行った。

第2節 材料および方法

第1項 供試個体

ホウコナダニは、2011年2月に奈良県農業総合センターより分譲を受けた累代飼育系統を、粉末乾燥酵母 (クッキング用ビール酵母, アサヒフードアンドヘルスケア株式会社) 培地を用いて温度 20°C, 湿度 97%, 暗黒条件下で累代飼育し供試した。ケナガコナダニは

2009年12月に上川農業試験場ガラス温室から得た個体群を、小麦ふすま (ふすま, 江別製粉株式会社) 培地を用いて温度 20°C, 湿度 99%, 暗黒条件下で累代飼育した。以下、ケナガコナダニが十分に増殖した小麦ふすま培地をケナガコナダニ培地と記述する。

ヤドリダニ類のうち *Ascidae* sp.1, クビレマヨイダニ, トゲダニモドキ, タンカンホソトゲダニ, ニセハエダニおよび *C. diviortus* は、2010年10月に採取したホウレンソウ圃場 B1 および B2 (東神楽町; 第2表) の土壌に含まれる個体群を増殖させて供試した。また、ヤマウチアシボソトゲダニは2009年6月に蔬菜類生産者 K (比布町) の敷地内から採取した粗穀主体の堆肥 (第14表) から得た個体群を増殖させて供試した。

ヤドリダニ類個体群増殖の方法は以下の通りである。採取土壌または堆肥約 400ml を腰高シャーレに充填し、ケナガコナダニ培地を 15ml 程度加えて混和した。およそ7日おきにケナガコナダニ培地を追加し、3日おきに霧吹きで水分を補給しながら、水を張ったシール容器内で温度 20°C, 暗黒条件下で30日間以上静置した。その後、実体顕微鏡下で観察し、吸虫管を用いて種別にヤドリダニ類雌成虫を回収し供試した。

第2項 温度条件 20°Cにおける捕食能力

捕食能力試験には Kasuga and Honda (2006) に準じ、直径 8mm の穴をあけたアクリル板 (縦 26mm × 横 76mm, 厚さ 3mm) 2枚で黒色濾紙 (縦 26mm × 横 76mm, 分析用濾紙を墨汁で染色し風乾) を挟み、蓋としてスライドガラス (縦 26mm × 横 76mm, 厚さ 0.9 ~ 1.2mm) を重ねて両端をバインダークリップで止めた飼育容器を用いた。飼育容器の黒色濾紙を蒸留水で軽く湿らせてからヤドリダニ類雌成虫を1頭放飼し、温度 20°C, 湿度 99%, 暗黒条件下で24時間静置して絶食させた後に、ホウコナダニ卵、幼虫、第1若虫、第3若虫または成虫を小筆を用いて生育ステージ別に与え、温度 20°C, 湿度 99%, 暗黒条件下で24時間静置して、捕食したホウコナダニ頭数をそれぞれ3 ~ 13反復調査した。

第3項 異なる温度条件下における捕食能力

飼育容器にヤドリダニ類雌成虫1頭を放飼して前述の条件で絶食させた後に、ホウコナダニ第1若虫または第3若虫を小筆を用いて与え、温度 15, 20, 25 または

30℃、湿度 99%、暗黒条件下で 24 時間静置して、捕食したホウコナダニ頭数をそれぞれ 10 反復調査した。

第4項 ホウコナダニの生育ステージに対する選好性

飼育容器にヤドリダニ類雌成虫 1 頭を放飼して前述の条件で絶食させた後に、1 容器につきホウコナダニ成虫 10～20 頭および幼虫 18～20 頭を小筆を用いて与え、温度 20℃、湿度 99%、暗黒条件下で 24 時間静置して、捕食した各態のホウコナダニ頭数を 6 反復調査した。

第5項 異なる温度条件下における絶食耐久性

前述の飼育容器内にヤドリダニ類雌成虫を 1 頭放飼し、温度 15、20、25 または 30℃、湿度 99%、暗黒条件下で静置して絶食させ、24 時間毎に生死を観察した。絶食開始から 21 日後に、生存虫に対してホウコナダニ成虫を小筆を用いて与え、温度 20℃、湿度 99%、暗黒条件下で 96 時間静置して、捕食および産卵の有無を 6 反復調査した。

第6項 代替餌を用いた累代飼育

ケナガコナダニを代替餌としてヤドリダニ類の累代飼育を試みた。他の土壤動物の発生を抑制するため、天日で十分に乾燥させた籾殻に水道水を重量比 10:1 の割合で混和し、ビニール袋内において温度条件 20℃で 2 週間程度静置した籾殻培地を用いた。籾殻培地 100ml を小型腰高シャーレ(直径 90mm × 高さ 90mm)に充填し、ヤドリダニ類雌成虫を種別に 7～20 頭放飼した。この容器に、ケナガコナダニ培地を約 15ml 加えて混和し、温度 20℃、湿度 99%、日長 16L8D の条件下で静置した。およそ 7 日おきにケナガコナダニ培地を追加し、霧吹きを用いて適宜水分を補給しながら 23～69 日間飼育した後、50ml をツルグレン装置に設置して 24 時間抽出した。なお、小型のヤドリダニ類については、籾殻培地 10ml を入れたプラスチックケース(縦 35mm × 横 60mm × 高さ 10mm)にケナガコナダニ培地約 1ml を加え混和し、同様の条件で飼育した後、10ml をツルグレン装置に設置して 24 時間抽出した。得られたヤドリダニ類は Hoyer 氏液を用いスライド標本作製して同定し、若虫および成虫の個体数を記録した。

第3節 結果

第1項 温度条件 20℃における捕食能力

Ascidiae sp.1 はホウコナダニ幼虫を、クビレマヨイダニは幼虫および第 1 若虫を捕食することが確認された(第 19 表)。両種ともに捕食量は 24 時間あたり 10 頭に

満たなかった。なお、供試雌成虫の不足により Ascidiae sp.1 はホウコナダニの第 1 若虫以降の生育ステージに対して、クビレマヨイダニは第 3 若虫以降の生育ステージに対して調査を実施できなかった。タンカンソトゲダニは、ホウコナダニ幼虫、第 1 若虫および第 3 若虫を捕食したが、成虫に対する捕食は確認されなかった。トゲダニモドキ、ヤマウチアシボソトゲダニ、ニセハエダニおよび *C. diviortus* は、ホウコナダニ幼虫、第 1 若虫、第 3 若虫および成虫に対する捕食が確認された。幼虫に対する捕食頭数は、トゲダニモドキが平均 16.2 頭、ヤマウチアシボソトゲダニが 78.4 頭、ニセハエダニが 123.7 頭、*C. diviortus* が 111.7 頭であった。いずれも幼虫に対する捕食量が最も多く、ホウコナダニの生育ステージが進むごとに少なくなった。

なお、卵に対する捕食は供試したすべての種で観察されなかった。

第2項 異なる温度条件下における捕食能力

トゲダニモドキのホウコナダニ第 1 若虫に対する捕食量は、温度条件 30℃において平均 15.0 頭と最も多かった(第 19 表)。20～30℃の温度範囲では捕食量に有意差は認められなかったが、15℃では 9.8 頭と捕食頭数が有意に少なかった。ヤマウチアシボソトゲダニのホウコナダニ第 3 若虫に対する捕食量は、20℃において平均 16.1 頭と最も多かった。これに比較して、15℃および 30℃では捕食量が 10 頭以下であり有意に少なかった。ニセハエダニでは、30℃における捕食量が平均 15.1 頭と最も多かった。これに比較して 15℃では捕食量が 3.9 頭と有意に少なかった。*C. diviortus* では、15℃において平均 13.6 頭と最も捕食量が多かったが、20～30℃においても 10.4～12.3 頭であり、温度条件の間に有意差は見られなかった。

なお、いずれの種も同一の温度条件下において捕食量に個体差が見られた。

第3項 ホウコナダニの生育ステージに対する選好性

ホウコナダニ成虫および幼虫を混在させて与えた場合、トゲダニモドキではホウコナダニ成虫に対する捕食がすべての反復において確認されなかったのに対し、幼虫の被捕食率はそれぞれ 50～85%であった(第 20 表)。ヤマウチアシボソトゲダニではホウコナダニ成虫の被捕食率が 20～80%であったのに対し、幼虫では 85～100%であった。*C. diviortus* ではホウコナダニ成虫の被捕食率が 5～25%であったのに対し、幼虫では 40～70%であった。なお、ニセハエダニでは供試雌成虫

第19表 ヤドリダニ類雌成虫のホウコナダニ各生育ステージに対する捕食量

ヤドリダニ類 種名	ホウコナダニ 生育ステージ	温度 (°C)	供試 雌成虫数	捕食量(頭/24時間/1雌)			
				最小	最大	平均 ±	標準偏差
Ascidae sp.1	卵	20	3	0	-	0	
	幼虫	20	3	5	9	7.0	
<i>P.mica</i>	卵	20	6	0	-	0	
	幼虫	20	9	0	8	3.0 ±	2.3
	第1若虫	20	4	0	3	1.3	
<i>H.praesternalis</i>	卵	20	6	0	-	0	
	幼虫	20	6	6	17	10.3 ±	4.1
	第1若虫	20	6	1	6	3.3 ±	2.0
	第3若虫	20	6	0	1	0.3 ±	0.5
	成虫	20	6	0	-	0	
<i>H.queenslandicus</i>	卵	20	6	0	-	0	
	幼虫	20	6	5	28	16.2 ±	8.9
	第1若虫	15	6	7	13	9.8 ±	2.0 b
		20	6	14	17	14.8 ±	1.2 a
		25	6	3	15	12.0 ±	4.6 ab
	第3若虫	30	6	13	18	15.0 ±	1.9 a
20		6	1	5	2.8 ±	1.7	
成虫	20	13	0	3	0.8 ±	1.1	
<i>H.yamauchii</i>	卵	20	8	0	-	0	
	幼虫	20	8	62	98	78.4 ±	16.2
	第1若虫	20	8	4	38	20.9 ±	11.6
	第3若虫	15	10	4	21	9.0 ±	5.4 bc
		20	10	8	24	16.1 ±	5.3 a
		25	10	9	23	13.9 ±	4.8 ab
成虫	30	10	1	14	7.4 ±	4.2 c	
成虫	20	10	1	8	4.5 ±	2.4	
<i>M.similis</i>	卵	20	8	0	-	0	
	幼虫	20	10	107	147	123.7 ±	16.1
	第1若虫	20	10	30	90	68.0 ±	21.9
	第3若虫	15	10	2	10	3.9 ±	2.3 b
		20	10	6	17	10.0 ±	3.5 a
		25	10	3	20	13.8 ±	6.2 a
成虫	30	12	5	20	15.1 ±	5.4 a	
成虫	20	10	1	5	2.9 ±	1.3	
<i>C.diviortus</i>	卵	20	6	0	-	0	
	幼虫	20	6	68	143	111.7 ±	32.9
	第1若虫	20	6	69	115	83.5 ±	20.8
	第3若虫	15	8	6	34	13.6 ±	9.2 a
		20	8	5	24	11.5 ±	6.3 a
		25	8	3	26	12.3 ±	8.9 a
成虫	30	8	2	23	10.4 ±	7.2 a	
成虫	20	8	1	8	4.5 ±	2.7	

供試雌成虫の不足によりAscidae sp.1は第1若虫以降、*P.mica*は第3若虫以降のステージについて試験未実施である。同一カラム内の異なるアルファベットはTukey-KramerのHSD検定において5%水準の有意な差があることを示す。供試雌成虫数が4頭以下の場合には標準偏差を算出しなかった。

の不足により調査未実施である。

第4項 異なる温度条件下における絶食耐久性

トゲダニモドキはいずれの温度条件においても、21日間の絶食によって死亡した個体は見られなかった(第21表)。給餌再開後はすべての個体がホウコナダニに対

して捕食を行ったが、4日間の調査期間中には産卵が確認されなかった。ヤマウチアシボソトゲダニは温度条件15～25℃ではすべての供試虫の生存が確認された。給餌再開から4日間で、15℃では平均1.0個、20℃では1.7個、25℃では2.3個の産卵が確認された。一方、30℃では供試した6頭のうち3頭が絶食期間中に死亡した。

第20表 ヤドリダニ類雌成虫のホウコナダニ成虫および幼虫に対する選好性(20℃)

種名	反復	ヤドリダニ類		ホウコナダニ			
		供試頭数		24時間後生存頭数 (平均 ± 標準偏差)		平均 被捕食率(%)	
		成虫	幼虫	成虫	幼虫	成虫	幼虫
<i>H.queenslandicus</i>	8	20.0	20.0	20.0 ± 0.0	6.6 ± 2.6	0.0	66.9
<i>H.yamauchii</i>	6	10.2	19.5	6.0 ± 2.5	0.8 ± 1.3	41.2	95.7
<i>C.diviortus</i>	8	20.0	20.0	17.1 ± 1.3	9.3 ± 2.3	14.5	53.5

第21表 ヤドリダニ類雌成虫の絶食耐久性(15℃~30℃)と給餌再開後4日間の捕食および産卵調査(20℃)

ヤドリダニ類 種名	温度 (℃)	供試 雌成虫数	21日後 生存個体数	給餌再開後		
				捕食行動 確認 個体数	産卵確認 個体数	平均産卵数* (個/生存個体数)
<i>H.queenslandicus</i>	15	6	6	6	0	0
	20	6	6	6	0	0
	25	6	6	6	0	0
	30	6	6	6	0	0
<i>H.yamauchii</i>	15	6	6	6	3	1.0
	20	6	6	6	6	1.7
	25	6	6	6	6	2.3
	30	6	3	2	0	0
<i>M.similis</i>	15	6	5	5	5	1.0
	20	6	1	1	1	1.0
	25	6	0	-	-	-
	30	6	0	-	-	-

**M.similis*は産仔数を調査.

生存虫のうち1頭は給餌再開後も捕食を行わず、すぐに死亡した。また、産卵は確認されなかった。ニセハエダニは供試した6頭のうち、15℃で5頭、20℃で1頭の生存が確認された。給餌を再開するとすべての生存個体が捕食を行い、いずれも平均1.0頭の産卵が確認された。*C. diviortus* はいずれの温度条件下でも21日後には生存が認められなかったが、15~20℃において比較的長期間生存した(第22表)。

第22表 *C. diviortus*雌成虫の絶食耐久性(15℃~30℃)

温度 (℃)	供試 雌成虫数	21日後 生存個体数	平均 生存日数
15	6	0	7.5
20	6	0	8.5
25	6	0	4.3
30	6	0	3.5

第5項 代替餌を用いた累代飼育

代替餌としてケナガコナダニを用いた累代飼育において、培地100mlあたり7頭~10頭の雌成虫を放飼したトゲダニモドキ、ヤマウチアシボソトゲダニは、飼育後の成若虫数が43.0頭および149.0頭と放飼頭数を大きく上回った(第23表)。培地100mlあたり15頭の雌成虫を放飼したタンカンホソトゲダニは、飼育後の成若虫数が17.0頭であり、放飼時から僅かに増加した。培地10mlあたり10頭の雌成虫を放飼したAscidae sp.1については、飼育後に9.0頭と僅かに減少したものの、

若虫の存在が確認された。なお、ニセハエダニおよび*C. diviortus*では成若虫が確認されなかった。

第4節 考察

本試験において供試したヤドリダニ類7種は、供試した個体の成熟度によると考えられる捕食量のばらつきがあったものの、いずれもホウコナダニを捕食することが明らかとなった(第19表)。これらの種は雌成

第23表 籾殻培地における代替餌ケナガコナダニを用いたヤドリダニ類の累代飼育

放飼時 培地量	ヤドリダニ類 種名*	放飼 雌成虫数	飼育 日数	反復	飼育後個体数 (放飼時培地量あたり)	
					成虫	若虫
10ml	Ascidae sp.1	10	69	なし	6.0	3.0
	<i>H.praesternalis</i>	15	30	なし	12.0	5.0
	<i>H.queenslandicus</i>	10	32	なし	8.0	35.0
100ml	<i>H.yamauchii</i>	7	29	2	90.5	58.5
	<i>M.similis</i>	10	30	2	0	0
	<i>C.diviortus</i>	7	23	2	0	0

虫の背板長で、小型種 (0.25 ~ 0.3mm 程度) ; Ascidae sp.1 およびクビレマヨイダニ (第3章参照), 中型種 (0.5 ~ 0.6mm 程度) ; タンカンホソトゲダニ (第3章参照) およびトゲダニモドキ (Costa, 1966), 大型種 (0.7 ~ 0.8mm 程度) ; ヤマウチアシボソトゲダニ (Ishikawa, 1982), ニセハエダニ (第3章参照) および *C. diviortus* (Hennessey and Farrier, 1989), の3つに区別することができるが、大型種ほどホウコナダニ捕食能力が高く、齢期の進んだホウコナダニも捕食可能であることが明らかとなった。小型種2種については供試雌成虫の確保が困難だったため、ホウコナダニの第1若虫または第3若虫以降のステージに対し試験を実施できなかったが、幼虫に対する捕食量もごく僅かであり、中型種タンカンホソトゲダニの第1若虫に対する捕食頭数が平均3.3頭であったことから、これを上回る捕食量は期待できないと推察された。

このため、ホウコナダニの全生育ステージ (卵を除く) に対して捕食が可能である中型種トゲダニモドキおよび大型種3種が、大量放飼によるホウコナダニ防除への利用に適した種であると考えられた。いずれの種もホウコナダニの齢期が若いほど単位時間あたりに捕殺できる頭数が多いことが明らかとなり (第19表), 成虫と幼虫が混在する条件下では幼虫に対して選好性を示したことから (第20表), 好適な条件下においてはホウコナダニを効率よく捕殺し、増殖を抑制できる可能性があると考えられた。また、捕食行動に適する温度帯はトゲダニモドキおよびニセハエダニで20 ~ 30°C, ヤマウチアシボソトゲダニで20 ~ 25°C, *C. diviortus* では15 ~ 30°Cであったことから (第19表), *H. (G.) aculeifer* の適温である30°C (Kasuga et al., 2006) と比較して低い傾向が見られた。この温度帯はホウコナダニの増殖に好適な25°Cと至近であるため (Kasuga and Amano, 2000), 施設栽培ホウレンソウにおいてホウコナダニの被害が深刻となる春期および秋期に、これらヤドリダニ

類の捕食行動も活発になるものと推測された。

しかし、緒言でも述べたように、これらのホウコナダニ捕食種を生物農薬として製剤化する上では大量増殖法の確立が必須である。特に餌資源の安定的な確保は重要な課題であり、飼育が難しいホウコナダニに比較して容易に増殖するケナガコナダニなどを代替餌資源として累代飼育が可能なヤドリダニ類がより有望であると考えた。ホウコナダニに対する捕食量が多かった大型ヤドリダニ類3種のうち、ニセハエダニおよび *C. diviortus* は、採取土壤に直接ケナガコナダニ培地を混和した場合は増殖が見られるものの、籾殻培地においては累代飼育ができなかった (第23表)。これらの種では、使用した増殖培地の種類、水分条件などが増殖に好適ではなかったか、ケナガコナダニ単一種の給餌では正常に発育しない可能性があると考えられた。今後、それぞれに適した餌種や培地を検討する必要がある。本研究において増殖培地に用いた籾殻は、水稻脱穀の際に北海道内で年間約14万トン発生しており、厩舎の敷料、堆肥の原料などに幅広く利用されているが、20%程度は廃棄や焼却処分されている身近な未活用資源である (北海道農政部, 2006)。このように原料の入手が容易かつ安価であり、重量も軽いなど、コストや労力面も重視して資材を探索する必要があると考えられる。

一方、ヤマウチアシボソトゲダニは籾殻培地において代替餌ケナガコナダニを用いた飼育が容易であり (第23表), 飼育の好適温度も比較的低いと推測されるため、低コストでの製剤化が可能であろう。また、15 ~ 25°Cの温度条件下で21日間という長期間にわたる絶食にも耐えられたことから (第21表), 将来的に生産者へ製剤を配布する際も取り扱いに格別の注意を要さないと考えられる。ただし、本種は籾殻主体の野積み堆肥から見出されたため、土壤への定着性については不明であることから詳細な調査を要するが、今後、圃場での大量放飼試験を行ってホウコナダニに対する密度抑制能力を評価

し、製剤化へ向けた取り組みを実施したい。

また、トゲダニモドキは大型種に比較して捕食量が少ないものの（第 19 表）、ヤマウチアシボソトゲダニと同様に絶食状態に強いことから（第 21 表）、第 4 章で指摘したように飼育中の好適な水分条件が明らかになり、安定的な大量増殖が可能になれば、生物農薬として製剤化できるものと考えられる。本種は圃場において、他種に比較して土壌の深層に多く分布することから（第 13 表）、大型種と併せて利用することで、圃場の垂直方向へより広範囲にホウコナダニ密度を抑制できる可能性がある。今後、さらに異なる温度条件下での産卵数や発育期間などについても調査して、これら 4 種のホウコナダニに対する天敵としての能力を明らかにしたい。

なお、小型種 2 種および中型種タンカンホソトゲダニは捕食量が少ないため（第 19 表）、捕食効率の観点から生物農薬としての実用化は難しいと考えられたが、いずれもホウレンソウ圃場において高い頻度で存在し、密度も高くなりやすいことから（第 5 表、第 7 表、第 8 表）、ホウコナダニに対する副次的な防除圧として働くものと考えられる。第 7 章では、現時点で室内での大量増殖が困難なニセハエダニおよび *C. diviortus* も含め、圃場内でヤドリダニ類を保護利用する方法について論じる。

第6章 化学農薬の影響

第1節 緒言

生物農薬は化学農薬の代替防除手段として広く利用されるようになったが（柏尾ら，2005；水久保ら，2005；浜村ら，2005；齊藤，2005；黒木，2011），作用を及ぼす相手への特異性が高いため，その他の病害虫に対しては慣行に準じた防除が必要である。このため，各研究機関や農薬メーカーによって天敵生物に影響の少ない化学農薬の探索が行われてきた（吉岡・武田，2006；増井ら，2009；島山，2010）。また，防除対象とする病害虫であっても，天敵放飼時に密度が高すぎると効果が得られにくいことが明らかとなっており（尾島・萩森，2006；木浦，2002），一時的に対象病害虫の密度を下げる目的で化学農薬が利用されることが多い。ハウレンソウ栽培において土着ヤドリダニ類を活用する際にも，有機栽培実践圃場を除いては化学農薬が併用されることを考慮する必要がある。ハウレンソウでは，主要病害であるハウレンソウベと病に対して抵抗性品種の導入が一般的であることから（佐藤ら，2002；堀之内ら，2011），栽培現場では殺虫剤がほとんど使用されない。このため，問題となるのは主にハウレンソウ萎凋病の防除に利用される土壤消毒剤，ホウコナダニおよびネキリムシ類（チョウ目：ヤガ科）などに対する土壤施用殺虫剤，ホウコナダニ，ヤガ類（チョウ目：ヤガ科）およびアザミウマ類（アザミウマ目）などに対する茎葉散布殺虫剤である。

ホウコナダニ防除に利用される薬剤はヤドリダニ類に対しても強い殺ダニ活性もつと推測されるが，広島県においては殺ダニ作用を持つ薬剤の散布条件下においてもヤドリダニ類が発生することを確認している（星野，2011）。圃場に存在するヤドリダニ類は土壤表層から深部まで広く生息していることから（第13表），茎葉部の防除を目的として散布された殺虫剤は生息場所に到達せず，直接的な影響が少なかったものと推察され，土着天敵を活用しつつ化学農薬も併用できる可能性が示唆された。しかし，直接土壤に注入または混和处理を行う土壤消毒剤や土壤施用剤の影響についてはこれまで報告がなく，また，茎葉散布剤であっても薬剤の種類や防除回数によっては影響を及ぼす可能性があることが懸念されたため，各薬剤についてより詳細な調査を行った。

第2節 材料および方法

第1項 調査方法

2010年にA2，B1，B2圃場（東神楽町），C1およびC2圃場（旭川市）の施設栽培ハウレンソウ圃場（第2表）において試験を行った。各圃場に9.0～30.0㎡の殺虫剤処理区および無処理区を1～4反復設け，処理前～収穫時まで約10日間隔で各区の中央部から深さ0～5cmの土壤約300mlを土壤採取器を用いて紙製封筒に採取した。当日中にサンプルを軽く混和してから200mlをツルグレン装置に設置して48時間抽出した。得られたヤドリダニ類はすべてのステージについてHoyer氏液を用いスライド標本を作製して同定し，種ごとに幼虫，若虫および成虫を区別せず合計頭数をそれぞれ記録した。ホウコナダニは標本とせずに実体顕微鏡下で観察し，幼虫，第1若虫，第3若虫および成虫の合計頭数を記録した。トビムシ類も同様に，若虫および成虫の合計頭数を記録した。

第2項 殺虫剤茎葉散布

ハウレンソウに作物登録のある茎葉散布剤のうち，主にホウコナダニ防除に利用されるDDVP乳剤（DDVP乳剤50，クミアイ化学工業株式会社），エマメクチン安息香酸塩乳剤（アフアーム乳剤，シンジェンタジャパン株式会社）およびフルフェノクスロン乳剤（カスケード乳剤，BASFジャパン株式会社）を供試した。各薬剤をそれぞれ規定の濃度に希釈調整し，A2圃場では自走式動力噴霧器，B1およびB2圃場では背負い式手動噴霧器，C2圃場では手押し式動力噴霧器を用いて散布した。なお，以上の噴霧器は各生産者が慣行的に防除に用いている機材である。散布回数はそれぞれ1回とし，散布量は作物体の生育ステージにあわせて100～300L/10aの範囲で加減した。各薬剤の詳細な試験設定は第24表に示した。

第3項 生産者慣行法による殺虫剤茎葉散布

前項の茎葉散布剤3剤を用い，生産者慣行法に準じた防除を実施した。各圃場での散布回数は計3回または4回とした。また，散布量についても慣行量とした。詳細な試験設定は第25表に示した。

第4項 殺虫剤土壤施用

ハウレンソウに作物登録のある土壤施用殺虫剤のう

第24表 茎葉散布殺虫剤試験概要

圃場	作期	調査 期間	1区面積 (㎡)	反復		供試薬剤	希積 倍数	散布量 /10a	散布 月日	土壌施用剤・ 他殺虫剤
				処理区	無処理区					
B2	1作目	4/6 ～	30.0	2	4	DDVP乳剤	*1000	100L	4/18	なし
		5/7								
A2	4作目	7/20 ～	30.0	2	4	エマメクチン 安息香酸塩乳剤	*2000	300L	7/20	なし
		8/19								
B1	5作目	9/9 ～	9.0	なし	なし	フルフェノクスロン 乳剤	*4000	100L	9/9	なし
		10/1								
C2	4作目	9/3 ～	9.0	なし	なし	フルフェノクスロン 乳剤	*4000	100L	9/3	なし
		9/24								

第25表 生産者慣行防除試験概要

圃場	作期	調査 期間	1区面積 (㎡)	反復		供試薬剤	希積 倍数	散布量 /10a	散布 月日	土壌施用剤・ 他殺虫剤
				処理区	無処理区					
A2	3作目	6/3 ～ 7/9	30.0	2	2	DDVP乳剤	*1000	100L	6/16	なし
						フルフェノクスロン 乳剤	*4000	300L	6/16	
						フルフェノクスロン 乳剤	*4000	300L	6/24	
						エマメクチン 安息香酸塩乳剤	*2000	300L	6/24	
C2	1作目	4/14 ～ 5/28	18.0	2	2	DDVP乳剤	*1000	100L	4/28	4/9:ダイア ジノン粒剤
						DDVP乳剤	*1000	100L	5/7	
						フルフェノクスロン 乳剤	*4000	100L	5/17	

第26表 土壌施用殺虫剤試験概要

圃場	作期	調査 期間	1区面積 (㎡)	反復		供試薬剤	処理量 /10a	処理 月日	土壌施用剤・ 他殺虫剤
				処理区	無処理区				
B2	2作目	5/7 ～	30.0	2	2	DCIP粒剤	30kg	5/12	なし
		6/11							
B1	5作目	8/19 ～	9.0	なし	なし	DCIP粒剤	30kg	8/30	なし
		10/1							
C1	2作目	4/14 ～	19.8	2	2	ベンフラカルブ 粒剤	3kg	4/22	なし
		5/28							
C1	2作目	4/14 ～	19.8	2	2	ダイアジノン 粒剤	6kg	4/22	5/7:DDVP乳剤 5/12, 5/17, 5/20 :フルフェノクスロン乳剤
		5/28							

ち、主にホウコナダニ防除に利用される DCIP 粒剤（ネマモール粒剤 30，住友化学株式会社），主にアブラムシ類（カメムシ目：アブラムシ上科）防除に用いられるベンフラカルブ粒剤（オンコル粒剤 5，大塚アグリテクノ株式会社），主にタネバエ防除に利用されるダイアジノン粒剤（ダイアジノン粒剤 5，日本化薬株式会社）を供試した。播種前に所定量の薬剤を土壤表面に手で均一に散粒し，ロータリーで混和した。詳細な試験設定は第 26 表に示した。

第5項 土壤消毒剤施用

試験は 2010 年に A1, B1 および B2 圃場（第 2 表）において行った。ホウレンソウに作物登録のある土壤消毒剤のうち，主にホウレンソウ萎凋病や雑草の防除に利用されるカーバマナトリウム塩液剤を供試した。処理前日に圃場に灌水して適度に土壤を湿らせ，翌日，クローラー式注入機（DSK-5Ci，有光工業株式会社）を用いた土壤注入法によって所定量の薬液を注入した。注入間隔は 20cm，注入深度は約 15cm である。処理は圃場全体に行い，同一圃場内に無処理区は設けなかった。薬剤注入後，直ちに農業用フィルム（バリアスター，東罐興業株式会社）で被覆し，およそ 14 日間被覆した。ロータリーを用いてガス抜き後，播種を行った。

2010 年から 2011 年の各圃場におけるヤドリダニ類，ホウコナダニおよびトビムシ類の発生消長から，土壤消毒前後の土壤動物相の変化を調査した。サンプル採取法など詳細な試験設定は第 2 章第 2 項に準じた。

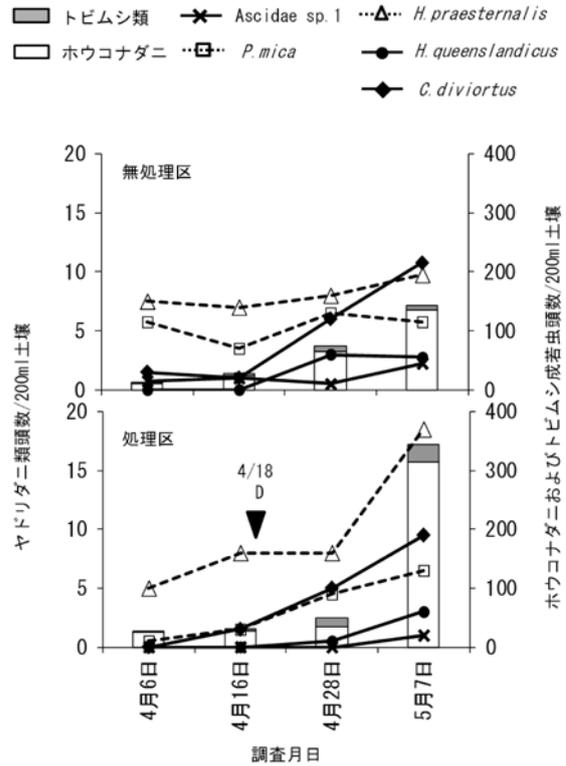
第3節 結果

第1項 DDVP 乳剤の影響

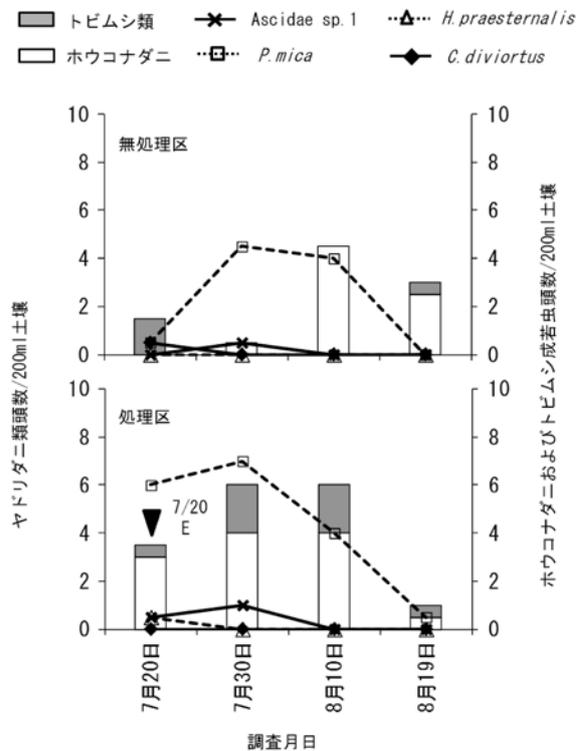
調査を行った B2 圃場の 1 作目では，いずれの区においても *Ascidae sp.1*，クビレマヨイダニ，タンカンホソトゲダニ，トゲダニモドキおよび *C. diviortus* の発生が見られた。DDVP 乳剤 1000 倍液の 100L/10a 処理区と無処理区との間で，土壤中のヤドリダニ類およびトビムシ類頭数に顕著な差は見られなかった。なお，処理からおおよそ 20 日後には無処理区よりホウコナダニ密度がやや高い傾向が見られた（第 25 図）。

第2項 エマメクチン安息香酸塩乳剤の影響

調査を行った A2 圃場の 4 作目では，ホウコナダニの発生はごく僅かであった。いずれの区においても主に *Ascidae sp.1* およびクビレマヨイダニの発生が見られた。エマメクチン安息香酸塩乳剤 2000 倍液の 300L/10a 処理区と無処理区との間で，土壤中のヤドリ



第 25 図 DDVP 乳剤散布後の土壤動物密度の推移。黒矢印は薬剤散布を示す。D: DDVP 乳剤。



第 26 図 エマメクチン安息香酸塩乳剤散布後の土壤動物密度の推移。黒矢印は薬剤散布を示す。E: エマメクチン安息香酸塩乳剤。

第27表 フルフェノクスロン乳剤散布後の土壤動物密度の推移(B1圃場5作目)

土壤動物名	成若幼虫数(土壌200mlあたり)					
	無処理区			処理区		
	9/9 散布直前	9/21 12日後	10/1 22日後	9/9 散布直前	9/21 12日後	10/1 22日後
トビムシ類	60	185	143	34	395	120
ホウコナダニ	0	0	0	0	0	0
<i>P.mica</i>	0	3	5	0	11	11
<i>M.similis</i>	5	5	6	5	5	0

第28表 フルフェノクスロン乳剤散布後の土壤動物密度の推移(C2圃場4作目)

土壤動物名	成若幼虫数(土壌200mlあたり)					
	無処理区			処理区		
	9/3 散布直前	9/14 11日後	9/24 21日後	9/3 散布直前	9/14 11日後	9/24 21日後
トビムシ類	1.0	0	0	0.5	0	0
ホウコナダニ	0	0	0	0	0	0
<i>P.mica</i>	0	0.5	2.0	0	1.5	0
<i>H.praesternalis</i>	0	0.5	0	0	1.5	0

ダニ類の種構成および頭数に顕著な差は見られなかった。また、トビムシ類の密度にも処理による減少は見られなかった(第26図)。

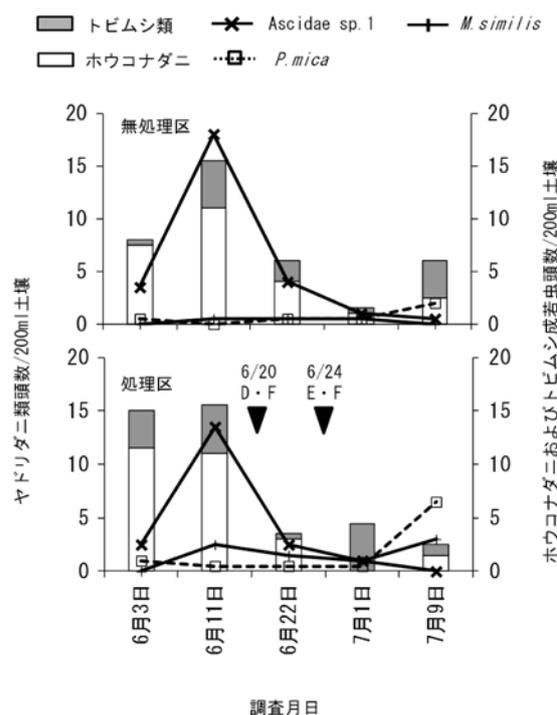
第3項 フルフェノクスロン乳剤の影響

調査を行った B1 圃場の 5 作目では、ホウコナダニの発生は皆無であった。ヤドリダニ類の発生も少なかったが、いずれの区においても主にクビレマヨイダニおよびニセハエダニの発生が見られた。フルフェノクスロン乳剤 4000 倍液の 100L/10a 処理区と無処理区の間で、ヤドリダニ類の種構成および頭数に顕著な差は見られなかった。また、トビムシ類の密度にも処理区間に顕著な差は見られなかった(第27表)。

C2 圃場の 4 作目においてもホウコナダニの発生は見られなかった。ヤドリダニ類の発生も僅かであったが、いずれの処理区においてもクビレマヨイダニおよびタンカンソトゲダニが確認された。フルフェノクスロン乳剤 4000 倍液の 300L/10a 処理区と無処理区の間で、ヤドリダニ類の種構成および頭数に顕著な差は見られなかった(第28表)。

第4項 殺虫剤の生産者慣行散布による影響

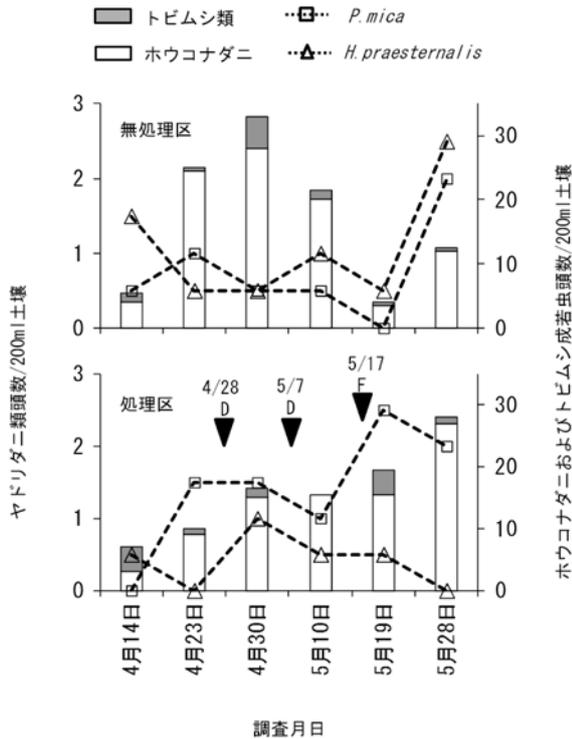
調査を行った A2 圃場の 3 作目では、いずれの区においても主に *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニの発生が見られた。1 作の間に DDVP 乳剤 1000 倍液 1 回、フルフェノクスロン乳剤 4000 倍液 2 回、エマメクチン安息香酸塩乳剤 2000 倍液 1 回をそれぞれ 300L/10a 散



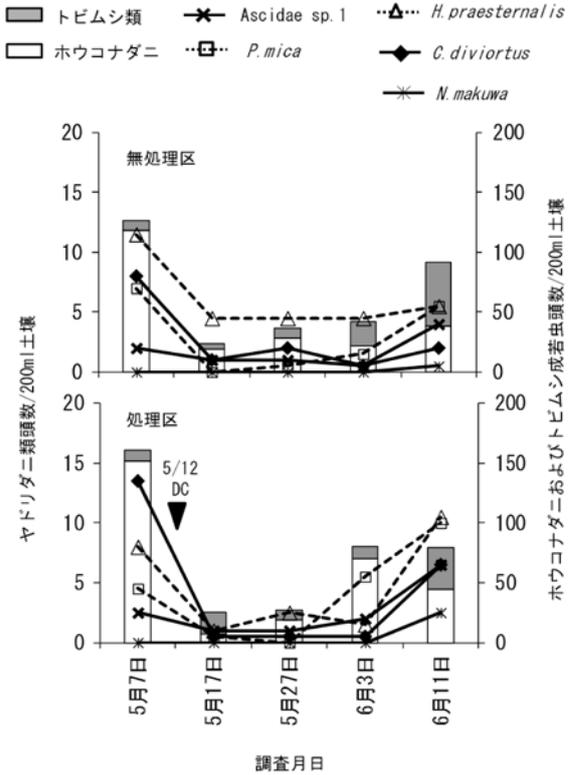
第27図 生産者慣行防除後の土壤動物密度の推移(A2圃場3作目)。

黒矢印は薬剤散布を示す。D: DDVP 乳剤, E: エマメクチン安息香酸塩乳剤, F: フルフェノクスロン乳剤。

布した生産者慣行処理区では、無処理区と比較してヤドリダニ類の種構成および頭数に顕著な差は見られなかった。なお、ホウコナダニおよびトビムシ類の密度にも顕著な差は見られなかった(第27図)。



第 28 図 生産者慣行防除後の土壌動物密度の推移 (C2 圃場 1 作目).
 黒矢印は薬剤散布を示す. D: DDVP 乳剤, F: フルフェノクスロン乳剤.



第 29 図 DCIP 粒剤施用後の土壌動物密度の推移 (B2 圃場 2 作目).
 黒矢印は薬剤の土壌施用を示す. DC: DCIP 粒剤.

また、C2 圃場の 1 作目ではヤドリダニ類の発生が少なかったが、いずれの区においても主にクビレマヨイダニおよびタンカンホソトゲダニの発生が見られた。1 作の間に DDVP 乳剤 1000 倍液 2 回、フルフェノクスロン乳剤 4000 倍液 1 回をそれぞれ 300L/10a 散布した生産者慣行防除区は、無処理区と比較してヤドリダニ類の種構成および頭数に顕著な差は見られなかった。なお、ホウコナダニおよびトビムシ類の密度にも顕著な差は見られなかった (第 28 図)。

第5項 DCIP 粒剤の影響

調査を行った B2 圃場の 2 作目では、いずれの区においても主に Ascidae sp.1、クビレマヨイダニ、タンカンホソトゲダニおよび *C. diviortus* の発生が見られた。無処理区でも耕起によってヤドリダニ類およびホウコナダニの密度が低下したが、DCIP 粒剤処理区では処理直後に無処理区に比較して特にタンカンホソトゲダニの密度が低くなった。しかし、収穫時までには本種の密度の回復が見られた。ホウコナダニおよびトビムシ類の発生量には顕著な差は見られなかった (第 29 図)。

また、B1 圃場 5 作目ではホウコナダニの発生は皆無

であったが、いずれの区においても主にクビレマヨイダニおよびニセハエダニの発生が見られた。処理直後のヤドリダニ類頭数は、無処理区と比較してほとんど差が見られなかったが、その後無処理区の密度を上回った。同様に、トビムシ類も処理区での発生量が多い傾向であった (第 30 図)。

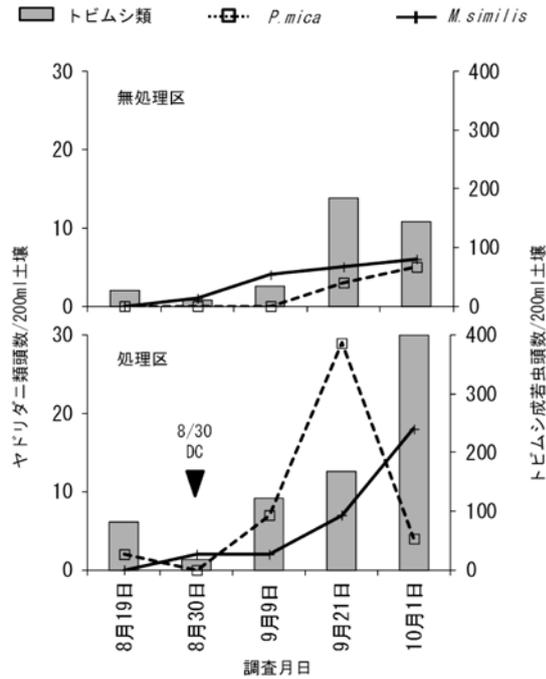
第6項 ベンフラカルブ粒剤およびダイアジノン粒剤の影響

調査を行った C1 圃場の 2 作目ではヤドリダニ類の発生が少なかったが、いずれの区においても主にクビレマヨイダニおよびタンカンホソトゲダニの 2 種が発生した。ベンフラカルブ粒剤処理区のヤドリダニ類の発生消長は無処理区と比較して顕著な差は見られなかった。

ダイアジノン粒剤処理区においても、ヤドリダニ類の発生は無処理区とほぼ同様であった。また、ホウコナダニおよびトビムシ類の発生消長についても、無処理区と比較して顕著な差は見られなかった (第 31 図)。

第7項 カーバムナトリウム塩液剤の影響

カーバムナトリウム塩液剤による土壌消毒直後は、無

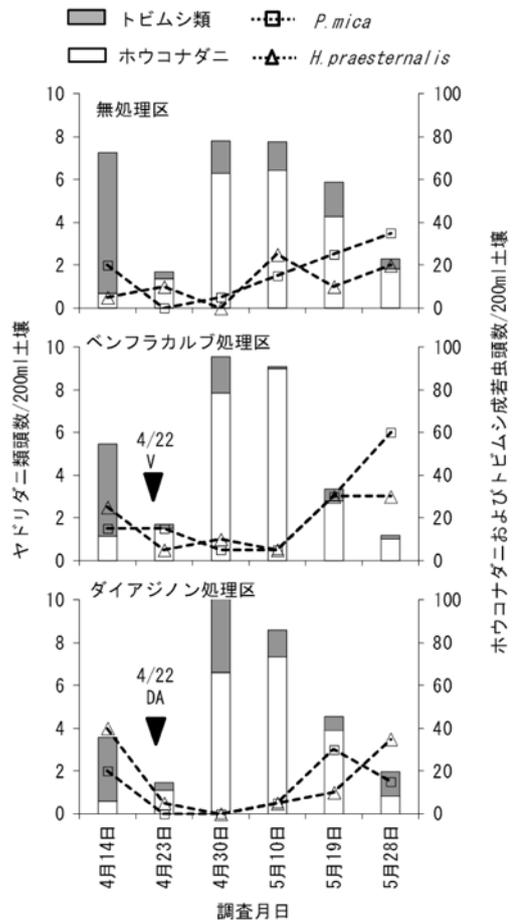


第 30 図 DCIP 粒剤施用後の土壤動物密度の推移 (B1 圃場 5 作目).
黒矢印は薬剤の土壤施用を示す. DC: DCIP 粒剤.

処理区に見られたヤドリダニ類, ホウコナダニおよびトビムシ類の発生がほとんど見られなかった (第 1 図, 第 3 図, 第 4 図, 第 5 図). しかし, *Ascidae* sp.1 は B2 圃場において 9 月に入って再発生し, 高密度となった (第 4 図). クビレマヨイダニは消毒を行ったいずれの圃場においてもおよそ 1 ヶ月以内に再発生が確認され, A1 圃場では 7 月上旬に, B1 および B2 圃場では 9 月に入って高密度となった (第 1 図, 第 3 図, 第 4 図). また, ニセハエダニについても当年中に密度が回復した (第 3 図, 第 5 図).

一方, タンカンホソトゲダニは消毒を実施しなかった C1 および C2 圃場においては調査期間を通して発生が確認されたものの (第 6 図, 第 7 図), B2 圃場において消毒を実施した後は当年中の再発生が見られなかった (第 4 図). また, *C. diviortus* についても当年中の再発生はごく僅かであった (第 5 図). なお, 両種とも翌 2011 年は春季の発生量が前年に比較して明らかに少ない傾向であった.

ホウコナダニは消毒後, いずれの圃場でも当年の栽培終了時までほとんど見られず, 翌 2011 年 6 月頃まで低密度の傾向であった (第 1 図, 第 3 図, 第 4 図). トビムシ類は, 消毒前から低密度であった A1 圃場を除き 8 月中旬頃に再発が観察され, その後は消毒前より高密度となった (第 3 図, 第 4 図).



第 31 図 ペンフラカルブ粒剤およびダイアジノン粒剤施用後の土壤動物密度の推移.
黒矢印は薬剤の土壤施用を示す. DA: ダイアジノン粒剤, V: ペンフラカルブ粒剤.

第4節 考察

第1項 殺虫剤茎葉散布の影響

ホウレンソウ栽培において用いられる茎葉散布殺虫剤のうち, ダニ類を含む主要害虫に対して活性を示す DDVP 乳剤, エマメクチン安息香酸塩乳剤およびフルフェノクスロン乳剤は, 1 回散布または生産者慣行による複数回散布のいずれの方法においても土壤中のヤドリダニ類にほとんど影響を与えなかった (第 25 図~第 28 図, 第 27 表, 第 28 表). フルフェノクスロン乳剤はカブリダニ類など天敵類に影響の少ない化学農薬として知られているが, 他の 2 剤については影響が強いため天敵類を利用する際は併用を避けるべき薬剤とされており (日本植物防疫協会, 2006), ヤドリダニ類に対しても直接作用させると高い殺虫活性を示すものと推察される. しかし, ほとんどのヤドリダニ類は土壤中に広く分布し, 種によっては深度 15cm の土壤にも分布することが明らかとなっている (第 13 表). 茎葉散布剤の最大

散布量である 300L/10a を処理しても土壌の濡れは深さ数 mm 程度にとどまることから、土壌中のヤドリダニが生息する領域のうちごく一部しか薬剤が到達せず、影響が見られなかったものと推測された。なお、ハウコナダニおよびトビムシ類密度についても薬剤処理区と無処理区の間には差が見られなかったことから、ヤドリダニ類の餌となる土壌動物に対しても影響が少ないと推測された。このため、茎葉散布殺虫剤はヤドリダニ類活用下において併用が可能であると考えられた。

第2項 殺虫剤土壌施用の影響

ベンフラカルブ粒剤およびダイアジノン粒剤はヤドリダニ類に対してほとんど影響が見られなかったが、DCIP 粒剤処理区では施用直後にタンカンホソトゲダニの密度がやや低くなり、本種に対し影響があることが示唆された。ただし、処理 15 日後には再び発生が確認されたため、影響は一時的なものであると考えられた（第 29 図）。DCIP 粒剤はハウコナダニ防除に用いられるが、薬剤の殺虫活性自体は低く忌避効果が主であるため、薬剤の残効がなくなれば速やかにヤドリダニ類の密度が回復するものと推測された。また、ハウコナダニおよびトビムシ類の密度はいずれの処理区においても無処理区とほとんど差が見られなかったことから、土壌施用殺虫剤はヤドリダニ類を活用していても、必要に応じて併用することが可能であると考えられた。

第3項 土壌消毒剤の影響

カーバムナトリウム塩液剤による土壌消毒直後は、ほとんどの圃場で土壌動物の発生が確認できなくなったため、調査を行った深度 0～5cm の表層土壌ではヤドリダニ類を含む土壌動物に対して大きな影響があったものと考えられた（第 1 図、第 3 図、第 4 図、第 5 図）。しかし *Ascidae* sp.1、クビレマヨイダニおよびニセハエダニは当年の栽培終了時まで密度が消毒前以上に回復した。特に *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニについては、2009 年に土壌消毒履歴のある A1、A2 および B1 圃場でも翌 2010 年の調査開始当初から発生が確認されたことから（第 1 図～第 3 図）、これらの種に対する消毒の影響は一時的であると考えられた。カーバムナトリウム塩液剤は土壌中で分解されて有効成分メチルイソチオシアネートが気化し、ガス体となって拡散することで殺虫効果を発揮するが、比重が 1.07（20℃）とほぼ空気と同程度であるため、薬剤を注入した深度約 15cm より深い土壌の層へ拡散することはほとんどないと考えられる。第 2 章において、10～15cm の深度でも各種ヤ

ドリダニ類が相当量存在することが明らかとなったことから（第 13 表）、薬剤による影響を受けにくい土壌深層で残存した *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニが、消毒後に垂直移動することで土壌表層において再発生が見られたものと考えられた。また、ニセハエダニは第 2 章で論じたように圃場外から便乗または歩行などによって断続的に侵入するものと考えられた。

しかし、タンカンホソトゲダニは、*Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニと同様に 10～15cm の深度での存在が確認されているにも関わらず（第 13 表）、消毒後は当年中の再発生が見られず、翌年も春季の発生がごく少なかった（第 4 図）。2009 年に土壌消毒履歴のある A1、A2 および B1 圃場ではタンカンホソトゲダニおよび *C. diviortus* は翌 2010 年の発生が皆無であったことから（第 1 図～第 3 図）、これらの種は *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニに比較してメチルイソチオシアネートに対する感受性が高い可能性がある。または、土壌の深い層で薬剤の影響を免れたとしても、表層への垂直移動が少なかった可能性も考えられ、今後検証が必要である。

これらの種はハウコナダニを捕食し、特に *C. diviortus* は捕食量が多いことが明らかとなっていることから（第 19 表）、圃場においてはハウコナダニに対する潜在的な防除圧として働いているものと考えられる。このため、土壌動物相保全および天敵の保護利用の観点から、本薬剤による土壌消毒は極力避けることが望ましいと考えられた。

第7章 圃場への資材施用による保護利用

第1節 緒言

これまでハウレンソウ圃場を含む施設野菜栽培圃場においては、安定生産や資源循環の観点から有機質資材の施用による「土作り」が推進されてきた（北海道農政部，2005）。しかし、未熟な堆肥などの施用によってハウコナダニの発生が助長されることが経験的に知られるようになり、生産者によってはリスク回避のため有機質資材を施用せず、化学肥料に依存する事例が見られる。しかし、有機質資材を使用していない圃場であっても本種の抑制が困難となっていたり、また、化学肥料の連用による土壌物理性の悪化が生育不良や作業性の低下につながるなど、新たな問題が発生しつつある。

一般的に、単一の生物が多発する条件としては、餌が豊富であること、生存に好適な温湿度であること、天敵などの密度抑制要因が不十分であることなどが挙げられる（浜，1992）。ハウレンソウが主に露地で栽培されていた1970年代以前にはハウコナダニは害虫として認識されていなかったが（中尾・黒佐，1988）、施設栽培への移行によって前述のようなハウコナダニの生存に有利な土壌条件が重なり、被害が発生する密度にまで増加するようになったものと推測される。

本種は菜種かす、未熟堆肥および米ぬかなど未分解の植物質資材を餌として増えやすく、魚かすや発酵鶏糞などの動物質資材、パーク堆肥などの完熟堆肥では増えにくい傾向が室内試験において確認されている（松村ら，2004；増田，2010b）。また、土壌中の微小生物であるトビムシ類、ハエ幼虫、線虫および環形動物などは、植物遺体、家畜や家禽の排泄物および家畜ふん堆肥など有機質が豊富な資材で発生する腐食者であることが知られている（伊戸，1978）。

一方、ハウレンソウ圃場に土着の主要ヤドリダニ類は、いずれもハウコナダニを捕食することが第5章において明らかとなったが、これらのほとんどは土壌中でのハウコナダニの動態に依存せず密度が変動することが第2章において示されたことから、トビムシ類に代表される多様な腐食連鎖の生物を餌として利用するジェネラリスト捕食者であると推測された。

このため、有機質資材を圃場に施用して餌となる土壌動物を豊富にすることで、ハウコナダニの天敵として働くヤドリダニ相を厚化することが期待される。本研究ではハウコナダニ増殖を未然に防ぐ土壌条件をつくるため、各種有機質資材および土壌改良資材のうち、ハウコ

ナダニが餌として利用しにくく、ヤドリダニ類やそれらの餌資源となるトビムシ類などの動物群集相密度が上昇しやすい資材を探索することを目的として試験を行った。

第2節 材料および方法

第1項 資材埋設試験

2010年は第2表に示した施設栽培ハウレンソウ圃場A2、B2圃場（東神楽町）およびC1圃場（旭川市）、上川農業試験場（比布町）のE1およびE2圃場において試験を行った。2011年はA2およびC2圃場（第3表）において試験を行った。各圃場に30～60㎡の試験区を設け、茎葉散布殺虫剤および土壌施用剤による防除は行わなかった。作土の畝間から深さ0～5cmの表層土壌を移植ごてを用いて採取し、均一になるようビニール袋内で良く攪拌した後、所定量の土壌改良資材または有機質資材を混和して縦200mm×横180mmに成型した網袋（ポリエチレン製排水溝ネット、縦250mm×横180mm、オルディ株式会社）に150mlずつ入れ、ポリエチレンひも（スズランテープ、シーアイ化成株式会社）で口を縛りハウレンソウ圃場の畝間に浅く埋設した。なお、栽培上の都合から生産者圃場への埋設が困難であった場合には、表層土壌を採取して資材を混和した後、上川農業試験場のE1およびE2圃場に埋設した。

供試した土壌改良資材は、乾燥籾殻と水道水を重量比10:1の割合で混和した籾殻資材、籾殻と水道水および特殊発酵鶏糞（アーゼロンゆうき、日本ライフ株式会社）を重量比100:10:1の割合で混和し温度条件20℃で12ヶ月静置した腐熟籾殻資材、籾殻くん炭（ライスコー、有限会社ノザワ物産）と水道水を重量比10:1の割合で混和した籾殻くん炭資材、ピートモス（パワーアップソイル、北海道石灰開発株式会社）および高分子吸収体（スーパーソープF、株式会社トモグリーン・ケミカル）の計5種である。

また、有機質資材は、魚かすペレット（マイフィッシュ、片倉チッカリン株式会社）、魚かす粉末（9.6%魚かす粉末、株式会社カタクラフーズ）、鶏糞ペレット（フジミ発酵けいふんペレット3号、富士見工業株式会社）、特殊発酵鶏糞（アーゼロンゆうき、日本ライフ株式会社）、菜種かす（日清油かす、日清オイリオグループ株式会社）および牛糞堆肥A（船方堆肥1号、船方総合農場）の計6種である。また、対照として化成肥料である硫安

(21.0 硫酸アンモニア, 北海道製鉄株式会社) を供試した。2010年には, 土壌改良資材は 1000kg/10a 相当 (ただし, 高分子吸収体のみ標準使用量である 10kg/10a 相当), 有機質資材は窒素量が 6gk/10a 相当になるよう土壌に混和した。なお, 2011年の試験8では資材を混和した後, それぞれに硫安を窒素量で 6kg/10a 相当追加した。

埋設した網袋は 3～23 日後に回収して紙製封筒に入れて実験室に持ち帰り, 温度条件 20℃で保管した。回収から 2 日以内に 100ml をツルグレン装置に設置して 24 時間抽出した。得られたヤドリダニ類は Hoyer 氏液を用いスライド標本を作製して同定し, 幼虫, 若虫および成虫を区別せず種ごとに合計頭数を記録した。ホウコナダニは標本とせず実体顕微鏡下で観察し, 幼虫, 第1若虫, 第3若虫および成虫の合計頭数を記録した。トビムシ類についても同様に, 若虫および成虫の合計頭数を記録した。

原則として土壌改良資材区は無処理区を対照とし, 有機質資材区は硫安区を対照として, ヤドリダニ類, ホウコナダニおよびトビムシ類の個体数を Dunnett の検定

を用い 5% 水準で有意差検定を行った。なお, 試験 5～試験 8 では土壌改良資材区も硫安区を対照として試験を実施した。詳細な試験設定を第 29 表および第 30 表に示した。

第2項 資材圃場施用試験

試験は 2011 年に A2, B2 および C2 圃場 (第 3 表) において行った。試験を行った作型の地上部防除および土壌施用剤の処理は栽培上の必要に応じて行った。各圃場に 1 区 12～60 m² の処理区を設け, 耕起直前に土壌改良資材は 500kg/10a, 有機質資材は窒素量で 3kg/10a 相当を散布した。また, 各区の窒素量がそれぞれ 8～9kg/10a となるよう, 硫安, 高度化成肥料 NS604 (くみあい燐硝安加里 S604 号, 旭化成ケミカルズ株式会社) または高度化成肥 NS248 (くみあい燐硝安加里 S248, 旭化成ケミカルズ株式会社) を追加して調整したのち, 耕起および播種を行った (第 31 表)。

供試した土壌改良資材は腐熟籾殻資材および籾殻くん炭資材の計 2 種, 有機質資材は魚かす粉末, 特殊発酵鶏糞, 菜種かす, バーク堆肥 (十勝バーク, 森産業株式会

第29表 埋設試験概要

	2010年						2011年		
	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6	試験7	試験8	
採取圃場	B2	B2	A2	A2	C1	A2	A2	C2	
埋設圃場	B2	E1	E2	A2	E2	A2	A2	C2	
反復	6	6	6	3	3	3	4	4	
播種日	5/12	5/10	5/10	6/3	8/9	8/22	3/1	3/23	
埋設日	6/3	6/4	6/3	6/14	8/26	8/30	3/15	4/4	
回収日	6/15	6/18	6/23	6/30	9/8	9/6,	3/18, 3/22, 3/29	4/7, 4/18, 4/27	
埋設期間	12日	14日	19日	16日	13日	7, 14日	3, 7, 14日	3, 14, 23日	

第30表 埋設試験供試資材

資材名	2010年						2011年	
	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6	試験7	試験8
土壌改良 資材	籾殻	—	○	○	○	○	○	—
	腐熟籾殻	—	○	○	○	○	○	○
	籾殻くん炭	—	—	—	—	—	○	○
	ピートモス	○	○	○	○	—	—	○
高分子吸収体	○	○	○	○	—	—	—	—
有機質 資材	菜種かす	○	○	○	○	○	○	—
	魚かすペレット	○	○	○	○	○	—	—
	魚かす粉末	—	—	—	—	○	○	○
	鶏糞ペレット	○	○	○	○	○	—	○
	特殊発酵鶏糞	○	○	○	○	○	○	○
	牛糞堆肥A	—	—	—	—	—	○	○
(対照)	無処理	○	○	○	○	—	—	—
	硫安	○	○	○	○	○	○	○

○; 供試, —; 供試せず。

第31表 圃場施用試験概要(2011年)

	圃場試験1	圃場試験2	圃場試験3	圃場試験4	圃場試験5
圃場	B2	A2	C2	A2	B2
1区面積	39.0m ²	60.0m ²	34.5m ²	15.0m ²	12.0m ²
施肥および耕起日	4/21	5/6	5/11	8/17	8/23
追加した化成肥料	硫安	硫安	硫安	IB604	S248
追加窒素量/10a	6kg	6kg	6kg	5kg	5kg

第32表 圃場施用試験供試資材(2011年)

資材名	圃場試験1	圃場試験2	圃場試験3	圃場試験4	圃場試験5
土壌改良資材					
腐熟籾殻	○	○	○	—	—
籾殻くん炭	○	○	○	○	○
有機質資材					
菜種かす	—	—	—	○	○
魚かす粉末	—	—	—	○	○
特殊発酵鶏糞	○	○	○	○	○
バーク堆肥	○	○	○	○	○
牛糞堆肥B	○	○	○	—	—
(対照) 化学肥料					
硫安	○	○	○	○	—
S555	—	—	—	—	○

○；供試，—；供試せず。

社) および牛糞堆肥 B (大地の再生, 大地株式会社) の計 5 種である。また, 対照として硫安または高度化成肥料 S555 (くみあい苦土尿素入り複合硝加磷安 S555, 北海道サンアグロ株式会社) を供試した。詳細な試験設定は第 32 表に示したとおりである。

耕起直前から収穫期までおよそ 7 日間隔で各区の 3 か所から深さ 0 ~ 5cm の土壌 100ml を採土管を用いて採取し, 採取当日にツルグレン装置に設置して 24 時間抽出した。得られたヤドリダニ類は Hoyer 氏液を用いスライド標本を作製して同定し, 種ごとに幼虫, 若虫および成虫の合計頭数を記録した。ホウコナダニは標本とせず実体顕微鏡下で観察し, 幼虫, 第 1 若虫, 第 3 若虫および成虫をの合計頭数を記録した。トビムシ類も同様に, 若虫および成虫の合計頭数を記録した。

各資材の施用区で得られたヤドリダニ類, ホウコナダニおよびトビムシ類個体数を, 硫安区の個体数を対照として Dunnett の検定を用い 5% 水準で有意差検定を行った。なお, 施用前密度のばらつきなどで実数での評価が難しいときは, 補正密度指数を用いて比較した。なお, 補正密度指数の算出方法は, (施用区の x 日後密度/施用区の散布前密度) × (対照区の散布前密度/対照区の x 日後密度) × 100 である。

第3節 結果

第1項 資材埋設によるヤドリダニ類, ホウコナダニおよびトビムシ類の発生量

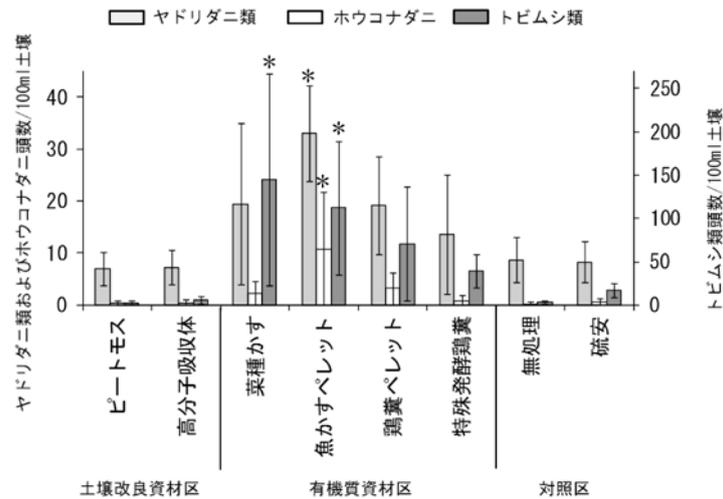
1. 試験 1

ヤドリダニ類密度は土壌改良資材区では無処理区と同程度であったが, 有機質資材区ではいずれも硫安区と比較して高い傾向であり, 特に魚かすペレット区では有意差が認められた。ホウコナダニは, 魚かすペレット区で有意に密度が高かった。トビムシ類は, 土壌改良資材区での密度上昇は見られなかったが, 有機質資材区ではいずれも密度が高い傾向であった。特に菜種かすおよび魚かすペレット区では有意に密度が高かった (第 32 図)。

確認されたヤドリダニ類は主に *Ascidae sp.1*, クビレマヨイダニ, タンカンホソトゲダニ, ニセハエダニおよび *C. diviortus* であった。魚かすペレット区では *Ascidae sp.1* およびクビレマヨイダニ, 鶏糞ペレット区では *Ascidae sp.1* の増加が顕著であり, 有意に密度が高かった。また, 魚かすペレットおよび菜種かす区では *C. diviortus*, 特殊発酵鶏糞では *Ascidae sp.1* の密度がやや高い傾向であった (第 33 表)。

2. 試験 2

ヤドリダニ類密度は籾殻区で無処理区と比較して有意に高かった。また, 腐熟籾殻, 菜種かす, 魚かすペレットおよび鶏糞ペレット区ではそれぞれの対照区と比較してやや高い傾向が見られた。ホウコナダニは少発生であり, すべて対照区と同程度の発生量であった。トビムシ



第32図 資材埋設12日後の土壌動物密度 (試験1)。

*土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較してDunnettの検定において5%水準で有意差があることを示す。

第33表 資材埋設12日後の主要ヤドリダニ類密度(試験1)

資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)				
	<i>Ascidæ</i> sp.1	<i>P.mica</i>	<i>H.praesternalis</i>	<i>M.similis</i>	<i>C.diviortus</i>
土壌改良資材区					
ピートモス	0.2 ± 0.4	0.7 ± 1.0	3.3 ± 2.7	0.3 ± 0.5	0.8 ± 1.2
高分子吸収体	0.7 ± 1.2	0.7 ± 1.2	2.0 ± 2.3	0.5 ± 0.5	0.3 ± 0.5
菜種かす	2.0 ± 1.5	1.5 ± 1.4	1.3 ± 1.9	1.3 ± 1.5	12.8 ± 13.4
有機質資材区					
魚かすペレット	10.8 ± 5.3 *	6.2 ± 4.1 *	2.5 ± 2.9	1.5 ± 1.5	11.5 ± 7.1
鶏糞ペレット	6.8 ± 4.8 *	2.8 ± 1.6	0.8 ± 1.3	1.6 ± 1.5	7.0 ± 8.0
特殊発酵鶏糞	3.8 ± 5.6	1.3 ± 2.3	2.3 ± 3.9	1.0 ± 0.6	4.7 ± 4.8
対照区					
無処理	0.5 ± 1.2	1.0 ± 1.1	3.5 ± 3.3	0.7 ± 1.0	1.0 ± 1.3
硫安	0.7 ± 0.8	0.3 ± 0.5	2.2 ± 1.8	0.7 ± 0.8	3.5 ± 2.8

*Dunnettの検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

類は、籾殻、菜種かすおよび魚かすペレット区で密度が高い傾向が見られた(第33図)。

確認されたヤドリダニ類は主に *Ascidæ* sp.1, クビレマヨイダニ, タンカンホソトゲダニおよびトゲダニモドキであった。*Ascidæ* sp.1の密度は籾殻および菜種かす区で有意に高かった(第34表)。

3. 試験3

ヤドリダニ類密度は籾殻区で無処理区と比較して有意に高かった。また、魚かすペレット、鶏糞ペレットおよび特殊発酵鶏糞区で硫安区と比較して高い傾向であった。ハウコナダニは籾殻区で有意に密度が高かった。また、菜種かす区では密度が高い傾向が見られた。トビムシ類は、籾殻、菜種かす、魚かすペレットおよび鶏糞ペレット区で密度が高い傾向が見られた(第34図)。

確認されたヤドリダニ類は主に *Ascidæ* sp.1, クビレマヨイダニ, タンカンホソトゲダニおよびトゲダニモドキであった。*Ascidæ* sp.1は籾殻、鶏糞ペレットおよび

特殊発酵鶏糞区で、クビレマヨイダニは籾殻、魚かすペレットおよび特殊発酵鶏糞区で密度が上昇する傾向が見られ、特に籾殻区では両種とも有意に増加した(第35表)。

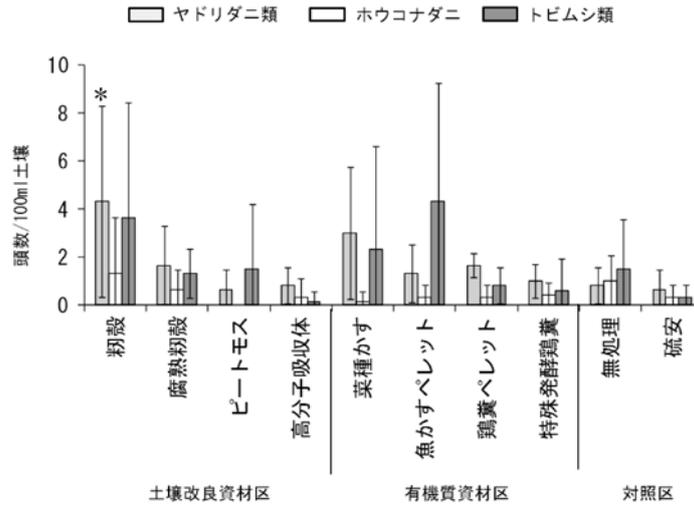
4. 試験4

ヤドリダニ類密度は、籾殻、高分子吸収体、菜種かすおよび鶏糞ペレット区でそれぞれの対照区と比較して高い傾向が認められた。ハウコナダニは籾殻、腐熟籾殻および鶏糞ペレット区で密度が高い傾向であった。トビムシ類は籾殻区で有意に密度が高くなった(第35図)。

確認されたヤドリダニ類は主に *Ascidæ* sp.1, クビレマヨイダニおよびニセハエダニであった。籾殻、高分子吸収体および菜種かす区ではクビレマヨイダニ、鶏糞ペレット区では *Ascidæ* sp.1 およびクビレマヨイダニが増加する傾向が認められた(第36表)。

5. 試験5

確認されたヤドリダニ類は、主にクビレマヨイダニで



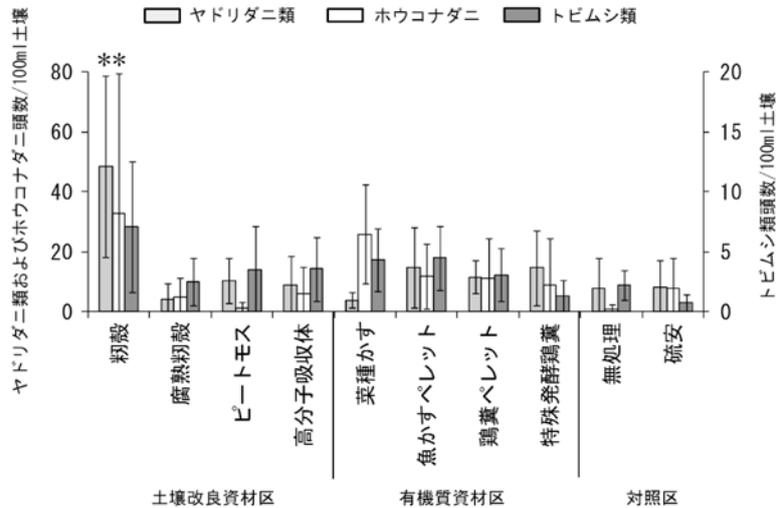
第33図 資材埋設14日後の土壌動物密度 (試験2).

* Dunnettの検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第34表 資材埋設14日後の主要ヤドリダニ類密度 (試験2)

資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数 (平均±標準偏差)			
	<i>Ascidia</i> sp.1	<i>P.mica</i>	<i>H.praesternalis</i>	<i>H.queenslandicus</i>
初穀	1.8 ± 1.0 *	1.3 ± 2.8	0.7 ± 0.5	0.2 ± 0.4
腐熟初穀	0.8 ± 1.3	0	0.2 ± 0.4	0
ピートモス	0	0	0.2 ± 0.4	0
高分子吸収体	0	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4
菜種かす	1.5 ± 1.4 *	0.2 ± 0.4	0.7 ± 0.8	0
魚かすペレット	0.2 ± 0.4	0.7 ± 0.8	0.3 ± 0.5	0
鶏糞ペレット	0.3 ± 0.5	0.5 ± 0.5	0.3 ± 0.5	0.2 ± 0.4
特殊発酵鶏糞	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	0.2 ± 0.4	0
無処理	0.2 ± 0.4	0	0	0
硫安	0.2 ± 0.4	0	0	0

*Dunnettの検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。



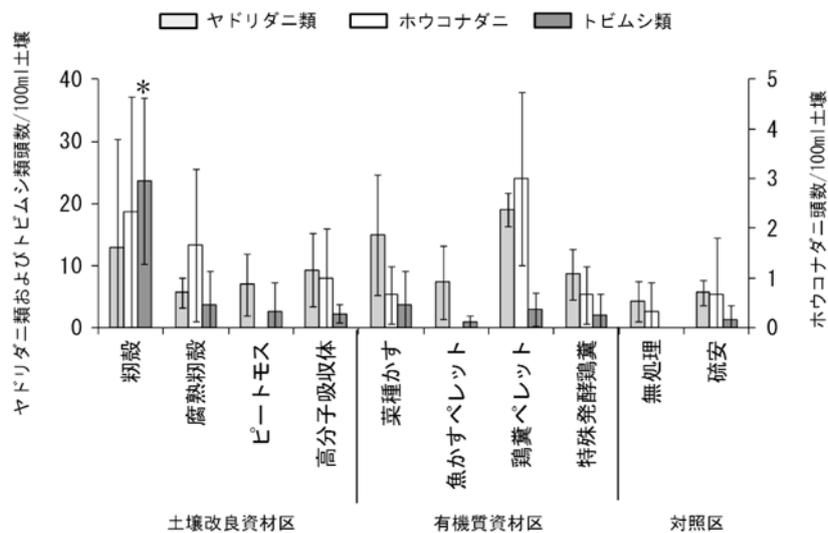
第34図 資材埋設19日後の土壌動物密度 (試験3).

* Dunnettの検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第35表 資材埋設19日後の主要ヤドリダニ類密度(試験3)

資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)			
	<i>Ascidae</i> sp.1	<i>P.mica</i>	<i>H.praesternalis</i>	<i>H.queenslandicus</i>
粗穀	11.7 ± 10.3 *	35.5 ± 30.1 *	1.0 ± 1.5 *	0
土壌改良 資材区	腐熟粗穀 0.2 ± 0.4	4.0 ± 4.8	0	0
ピートモス	1.2 ± 1.2	8.3 ± 6.7	0.3 ± 0.5	0.2 ± 0.4
高分子吸収体	1.2 ± 1.2	7.2 ± 10.3	0	0.2 ± 0.4
菜種かす	0.3 ± 0.5	3.2 ± 2.9	0.3 ± 0.5	0
有機質 資材区	魚かすペレット 1.8 ± 1.8	12.0 ± 12.9	0.2 ± 0.4	0.5 ± 0.8
鶏糞ペレット	3.2 ± 3.1	7.8 ± 5.5	0.3 ± 0.5	0.3 ± 0.5
特殊発酵鶏糞	2.8 ± 2.8	11.7 ± 12.0	0.2 ± 0.4	0
対照区	無処理 0.7 ± 0.5	7.2 ± 10.3	0	0
硫安	0.7 ± 1.0	7.3 ± 8.6	0	0

*Dunnettの検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。



第35図 資材埋設16日後の土壌動物密度(試験4)

* Dunnett の検定において土壌改良資材区は無処理区と、有機質資材区は硫安区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第36表 資材埋設16日後の主要ヤドリダニ類密度(試験4)

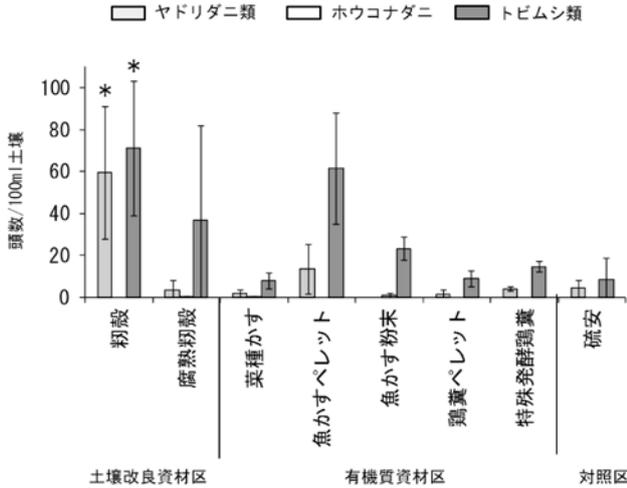
資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)		
	<i>Ascidae</i> sp.1	<i>P.mica</i>	<i>M.similis</i>
粗穀	3.7 ± 5.5	7.3 ± 10.1	2.0 ± 1.7
土壌改良 資材区	腐熟粗穀 2.3 ± 1.2	2.0 ± 1.7	1.3 ± 1.5
ピートモス	3.0 ± 4.4	3.0 ± 1.7	1.0 ± 1.7
高分子吸収体	2.0 ± 1.0	6.3 ± 4.9	1.0 ± 0.0
菜種かす	3.7 ± 2.1	10.0 ± 11.5	1.3 ± 0.6
有機質 資材区	魚かすペレット 2.7 ± 2.5	3.7 ± 4.7	1.0 ± 1.0
鶏糞ペレット	7.0 ± 1.7	10.0 ± 3.5	2.0 ± 2.0
特殊発酵鶏糞	4.7 ± 2.3	2.0 ± 2.6	2.0 ± 0.0
対照区	無処理 3.0 ± 1.7	1.0 ± 1.7	0.3 ± 0.6
硫安	3.7 ± 1.2	1.0 ± 1.0	1.0 ± 0.0

あった。硫安区と比較して粗穀区で有意に密度が高く、魚かすペレット区で密度が高い傾向が見られた。ホウコナダニはごく少発生であり、区間差は判定できなかった。トビムシ類は、粗穀区で有意に密度が高くなった。また、

腐熟粗穀、魚かすペレットおよび魚かす粉末区で密度が高い傾向が見られた(第36図)。

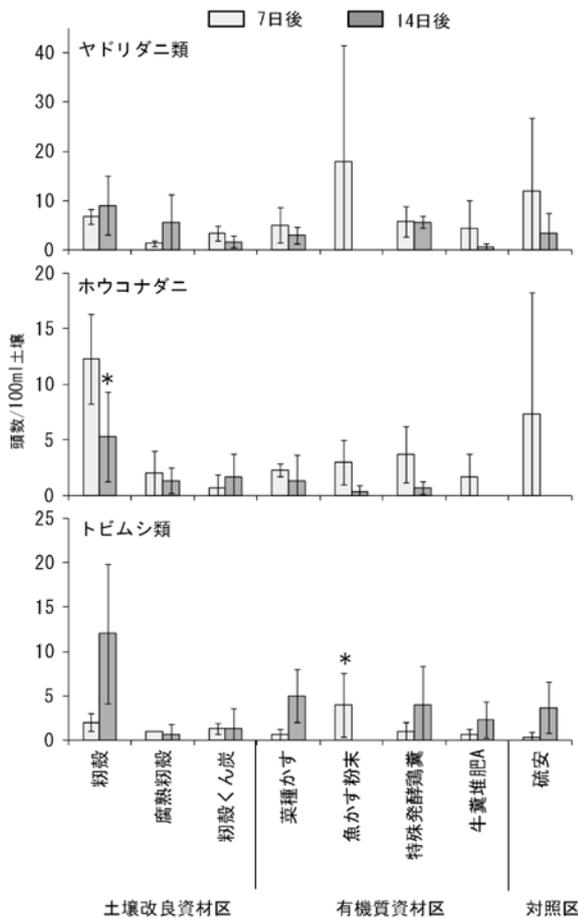
6. 試験6

確認されたヤドリダニ種は、主にクビレマヨイダニで



第 36 図 資材埋設 13 日後の土壤動物密度 (試験 5).

* Dunnet の検定において硫安区と比較して 5% 水準で有意差があることを示す。



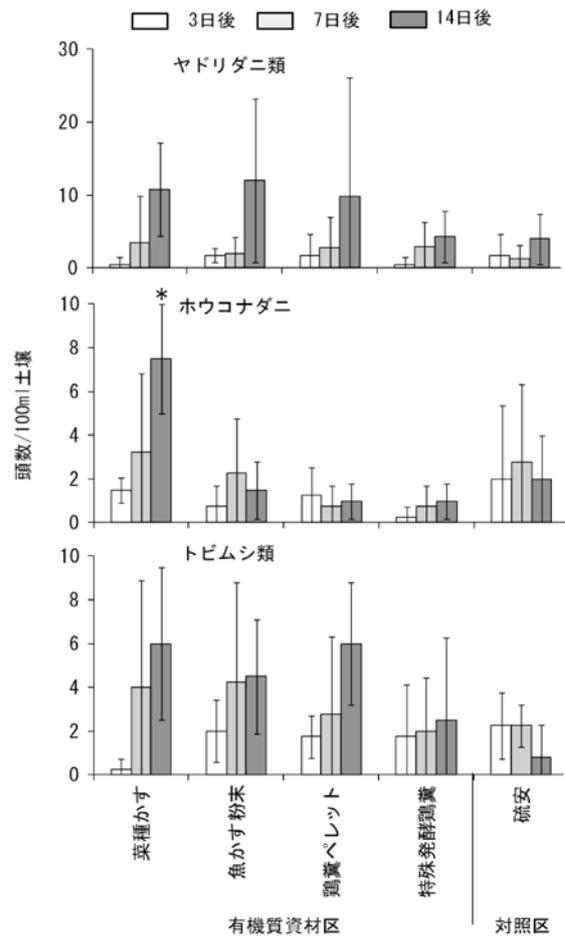
第 37 図 資材埋設後の土壤動物密度の推移 (試験 6).

* Dunnet の検定において同一日の硫安区と比較して 5% 水準で有意差があることを示す。

あった。埋設 7 日後には魚かす粉末区で、14 日後には 籾殻区で硫安区と比較して密度が高い傾向であった。ホウコナダニは、7 日後では籾殻区を除き低密度の傾向であった。籾殻区では 14 日後にも高密度であり、有意差が見られた。トビムシ類は 7 日後に魚かす粉末区で有意に密度が高く、14 日後に籾殻区で密度が高い傾向が見られたが、その他の資材では硫安区と同程度であった (第 37 図)。

7. 試験 7

確認されたヤドリダニ種は主にクビレマヨイダニであった。埋設 3 日後および 7 日後では、すべての資材で硫安区とほぼ同等の密度であったが、14 日後では菜種かす、魚かす粉末および鶏糞ペレット区で高密度となる傾向が見られた。ホウコナダニ密度は、14 日後に菜種かす区で有意に高くなった。鶏糞ペレットおよび特殊発酵鶏糞区では密度がやや低い傾向が見られた。トビムシ類は菜種かす、魚かす粉末および鶏糞ペレット区で密



第 38 図 資材埋設後の土壤動物密度の推移 (試験 7).

* Dunnet の検定において同一日の硫安区と比較して 5% 水準で有意差があることを示す。

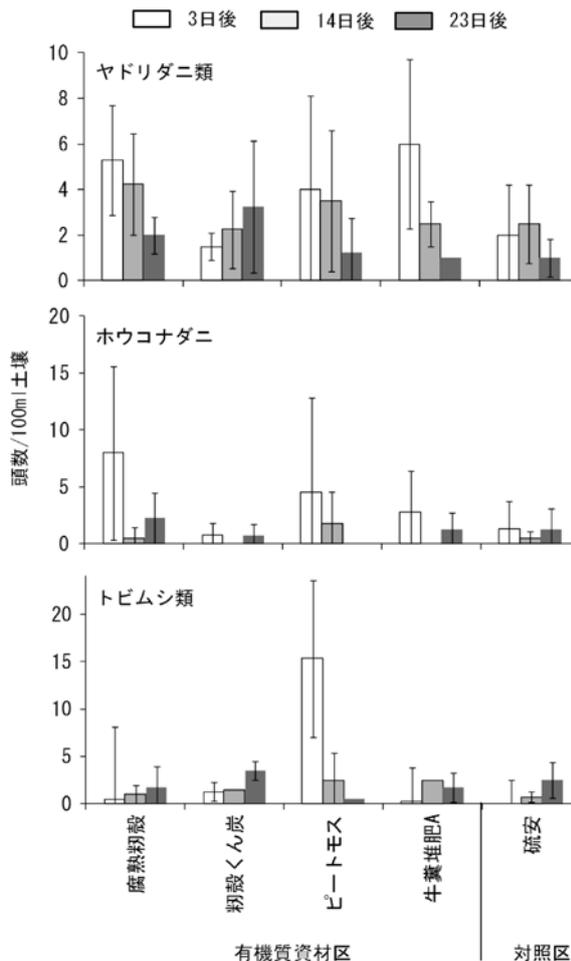
度が高くなる傾向が見られた（第38図）。

8. 試験8

確認されたヤドリダニ種は主にクビレマヨイダニであった。ヤドリダニ類密度は埋設3日後に、腐熟籾殻、ピートモスおよび牛糞堆肥A区で硫安区と比較して高い傾向であった。14日後では、腐熟籾殻およびピートモス区でやや高い傾向であった。籾殻くん炭区では埋設からの日数経過とともに密度が上昇する傾向が見られたが、その他の資材では減少した。ハウコナダニは、3日後に腐熟籾殻およびピートモス区でやや密度が高かった。籾殻くん炭区では調査期間を通して低密度で推移した。トビムシ類は3日後にピートモス区で密度が高い傾向であったが、その他の資材では調査期間を通して発生が少なかった（第39図）。

9. 資材埋設の評価

以上の資材埋設によるヤドリダニ類、ハウコナダニお



第39図 資材埋設後の土壌動物密度の推移（試験8）。

よびトビムシ類の発生量を対照区と比較して評価し、それぞれ第37表、第38表および第39表に示した。土壌改良資材ではピートモス、有機質資材では魚かす粉末および特殊発酵鶏糞が、土壌に埋設した際にそれぞれの対照と比較してハウコナダニを増やさずヤドリダニ類を増加させる傾向が見られた。なお、籾殻くん炭では、ヤドリダニ類密度は低くなるものの、ハウコナダニの発生量も顕著に少ない傾向が見られた。トビムシ類はいずれの資材でも増加する傾向が見られた。

第2項 資材圃場施用によるヤドリダニ類、ハウコナダニおよびトビムシ類の発生量

1. 圃場試験1

確認されたヤドリダニ類は主に *Ascidae* sp.1, クビレマヨイダニ, タンカンホソトゲダニ, トゲダニモドキ, ニセハエダニおよび *C. diviortus* であった。資材施用によって主に *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニが増加した（第40表）。ヤドリダニ類は対照とした硫安区での施用前密度が突出して多かったことから、補正密度指数を用いて評価した。資材施用区のヤドリダニ類の補正密度指数は調査期間を通して高い傾向であった。ハウコナダニは、腐熟籾殻区で施用から39日後に硫安区と比較して密度が高かったが、それ以外の区では調査期間を通して大幅な密度の高まりは見られなかった。トビムシ類は、牛糞堆肥B区でやや密度が高い傾向が見られた（第41表、第40図）。

2. 圃場試験2

ヤドリダニ類およびトビムシ類は少発生であり、区間差は判然としなかった。ハウコナダニは、腐熟籾殻区で施用から7日後に硫安区と比較して有意に密度が高かったが、その他の区では調査期間を通して同程度から低い傾向であった（第42表、第41図）。

3. 圃場試験3

確認されたヤドリダニ種は主にクビレマヨイダニおよびタンカンホソトゲダニであった（第43表）。ヤドリダニ類の密度は、いずれの施用区においても施用から27日後以降に硫安区と比較して高い傾向であった。牛糞堆肥B区では7日後にタンカンホソトゲダニの、パーク堆肥区では32日後にクビレマヨイダニの密度が高い傾向であった。ハウコナダニは、26日後まではいずれの施用区でも硫安区とほぼ同等程度の発生量であったが、34日後に腐熟籾殻区で有意に密度が高くなった。トビムシ類は、いずれの施用区でも21日後以降に密度が上昇する傾向が見られ、34日後に腐熟籾殻区で有意に密度が高くなった（第44表、第42図）。

第37表 資材埋設のヤドリダニ類発生量に対する評価

資材名	埋設期間ごとの評価*												総合評価**		
	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6		試験7			試験8				
	12日	14日	19日	16日	13日	7日	14日	3日	7日	14日	3日	14日		23日	
土壌改良資材	籾殻	—	◎	◎	○	◎	△	○	—	—	—	—	—	—	A
	腐熟籾殻	—	○	△	△	△	×	○	—	—	—	○	○	○	B
	籾殻くん炭	—	—	—	—	—	×	△	—	—	—	△	△	○	C
	ピートモス	△	△	△	○	—	—	—	—	—	—	○	△	△	B
	高分子吸収体	△	△	△	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C
有機質資材	菜種かす	○	○	×	○	×	×	△	×	○	○	—	—	—	B
	魚かすペレット	◎	○	○	△	○	—	—	—	—	—	—	—	—	B
	魚かす粉末	—	—	—	—	×	○	×	△	○	○	—	—	—	B
	鶏糞ペレット	○	○	△	○	×	—	—	△	○	○	—	—	—	B
	特殊発酵鶏糞	○	△	○	○	△	×	○	×	○	△	—	—	—	B
	牛糞堆肥A	—	—	—	—	—	×	×	—	—	—	○	△	△	C

*対照と比較して、密度が有意に高い:◎, 高い傾向(1.5倍以上):○, 同等程度:△, 低い傾向(0.5倍以下):×, を示す。

**基準をC:対照と同等程度とし, A:大幅に増加, B:増加傾向, D:減少傾向, とした。

第38表 資材埋設のホウコナダニ発生量に対する評価

資材名	埋設期間ごとの評価*												総合評価**		
	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6		試験7			試験8				
	12日	14日	19日	16日	13日	7日	14日	3日	7日	14日	3日	14日		23日	
土壌改良資材	籾殻	—	○	×	△	?	△	×	—	—	—	—	—	—	D
	腐熟籾殻	—	○	△	△	?	◎	△	—	—	—	△	○	○	C
	籾殻くん炭	—	—	—	—	—	◎	△	—	—	—	○	○	○	B
	ピートモス	○	○	○	○	—	—	—	—	—	—	△	△	○	B
	高分子吸収体	○	○	△	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C
有機質資材	菜種かす	△	○	△	○	?	◎	△	○	○	×	—	—	—	D
	魚かすペレット	×	○	△	◎	?	—	—	—	—	—	—	—	—	D
	魚かす粉末	—	—	—	—	?	◎	○	○	○	○	—	—	—	B
	鶏糞ペレット	△	○	○	△	?	—	—	○	◎	◎	—	—	—	C
	特殊発酵鶏糞	○	○	○	○	?	○	○	◎	◎	◎	—	—	—	A
	牛糞堆肥A	—	—	—	—	—	◎	○	—	—	—	△	○	○	B

備考 少発生 少発生

*対照と比較して、密度が低い傾向(0.5倍以下):◎, 同等程度:○, 高い傾向(2倍以上):△, 有意に高い:×, を示す。

**基準をB:対照と同等程度とし, A:減少傾向, C:増加傾向, D:大幅に増加, とした。

第39表 資材埋設のトビムシ類発生量に対する評価

資材名	埋設期間ごとの評価*												総合評価**		
	試験1	試験2	試験3	試験4	試験5	試験6		試験7			試験8				
	12日	14日	19日	16日	13日	7日	14日	3日	7日	14日	3日	14日		23日	
土壌改良資材	籾殻	—	○	◎	◎	◎	○	○	—	—	—	—	—	—	A
	腐熟籾殻	—	△	△	○	○	○	×	—	—	—	△	△	△	B
	籾殻くん炭	—	—	—	—	—	○	×	—	—	—	○	○	△	B
	ピートモス	△	△	○	○	—	—	—	—	—	—	○	○	×	B
	高分子吸収体	○	△	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	B
有機質資材	菜種かす	◎	○	○	○	△	○	△	×	○	○	—	—	—	B
	魚かすペレット	◎	○	○	△	○	—	—	—	—	—	—	—	—	B
	魚かす粉末	—	—	—	—	○	◎	△	△	○	○	—	—	—	B
	鶏糞ペレット	○	○	○	○	△	—	—	△	△	○	—	—	—	B
	特殊発酵鶏糞	○	○	○	○	○	○	△	△	△	○	—	—	—	B
	牛糞堆肥A	—	—	—	—	—	○	△	—	—	—	△	○	△	B

*対照と比較して、密度が有意に高い:◎, 高い傾向:○, 同等程度:△, 低い傾向:×, を示す。

**基準をC:対照と同等程度とし, A:大幅に増加, B:増加傾向, D:減少傾向, とした。

第40表 資材圃場施用による主要ヤドリダニ類密度の推移 (圃場試験1)

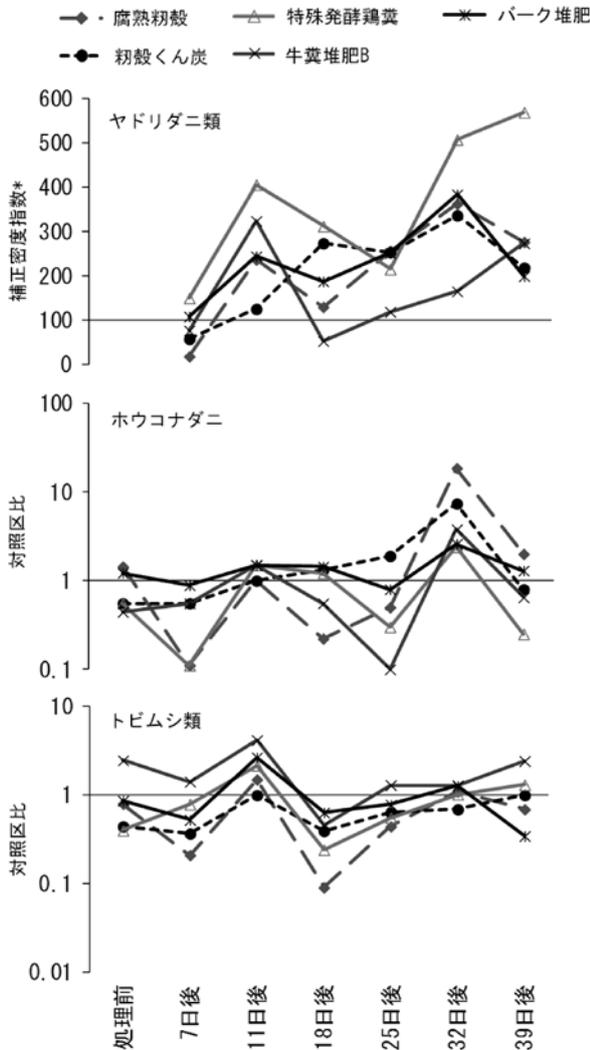
ヤドリダニ類 種名	資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)							
		処理前	7日後	11日後	18日後	25日後	32日後	39日後	
Ascidiae sp.1	土壌改良 資材区	腐熟粉殻 0.3 ± 0.6	0	0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	2.3 ± 0.6	2.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0
	有機質 資材区	粉殻くん炭 0.3 ± 0.6	0	0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.7	4.3 ± 4.2	4.0 ± 6.1	2.0 ± 2.6	
		特殊発酵鶏糞 3.0 ± 2.0	0.3 ± 0.6	3.0 ± 1.0	0.7 ± 1.2	2.7 ± 1.5	8.3 ± 7.4	2.0 ± 1.0	
		牛糞堆肥B 1.7 ± 2.1	0.3 ± 0.6	2.0 ± 1.7	0.3 ± 0.6	2.3 ± 0.6	3.0 ± 2.6	3.0 ± 2.0	
P.mica	対照区	バーク堆肥 7.7 ± 1.5	1.0 ± 1.0	2.3 ± 1.5	2.3 ± 1.5	6.3 ± 6.5	4.7 ± 3.2	1.7 ± 1.5	
	土壌改良 資材区	腐熟粉殻 1.3 ± 1.5	0	0.7 ± 1.2	0	2.7 ± 1.2	3.0 ± 1.7	1.0 ± 1.7	
	有機質 資材区	粉殻くん炭 3.3 ± 3.2	0.3 ± 0.6	0.7 ± 1.2	0.7 ± 0.6	7.0 ± 4.4	4.3 ± 2.5	3.3 ± 1.5	
		特殊発酵鶏糞 1.0 ± 1.7	0.7 ± 1.2	0.3 ± 0.6	0	1.3 ± 1.5	1.7 ± 2.1	5.3 ± 7.6	
全発生種計	対照区	牛糞堆肥B 2.7 ± 2.5	0	1.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0	2.0 ± 1.0	3.3 ± 4.0	
	土壌改良 資材区	バーク堆肥 0.7 ± 1.2	0	0	0	1.0 ± 1.0	2.7 ± 2.5	1.3 ± 2.3	
	有機質 資材区	硫安 6.3 ± 5.9	3.0 ± 2.6	0	0.3 ± 0.6	2.3 ± 1.5	0.7 ± 0.6	1.7 ± 2.1	
		腐熟粉殻 4.0 ± 3.6	0	2.0 ± 1.0	1.3 ± 1.5	8.0 ± 3.0	9.7 ± 5.5	5.7 ± 4.7	
全発生種計	対照区	粉殻くん炭 6.7 ± 2.9	1.3 ± 0.6	1.7 ± 1.5	5.3 ± 2.1	13.0 ± 0	14.7 ± 2.1	7.3 ± 0.6	
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞 4.0 ± 4.4	2.3 ± 3.2	3.7 ± 2.1	3.7 ± 1.2	6.7 ± 2.5	13.7 ± 13.1	12.0 ± 14.9	
	土壌改良 資材区	牛糞堆肥B 6.0 ± 5.0	1.7 ± 1.2	4.3 ± 2.5	0.7 ± 1.2	5.3 ± 0.6	6.3 ± 4.2	8.3 ± 5.9	
	対照区	バーク堆肥 2.7 ± 2.9	1.0 ± 1.0	1.3 ± 1.5	1.3 ± 1.5	5.3 ± 3.5	7.0 ± 4.4	2.7 ± 4.6	
	硫安 14.3 ± 7.5	5.7 ± 3.5	3.0 ± 1.7	4.0 ± 1.0	10.7 ± 4.0	9.0 ± 4.4	7.0 ± 4.4		

第41表 資材圃場施用によるホウコナダニおよびトビムシ類密度の推移(圃場試験1)

土壌動物名	資材区名	土壌100mlあたりのホウコナダニ成若幼虫数, トビムシ類成若虫数(平均±標準偏差)									
		処理前	7日後	11日後	18日後	25日後	32日後	39日後			
ホウコナダニ	土壌改良 腐熟粉殻	4.0 ± 6.9	0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	1.3 ± 1.5	30.7 ± 32.9	13.0 ± 13.0			
	資材区 粉殻くん炭	1.3 ± 2.3	1.3 ± 1.5	0.3 ± 0.6	3.7 ± 3.5	6.0 ± 9.5	12.0 ± 13.1	4.0 ± 4.0			
	特殊発酵鶏糞	1.3 ± 1.5	0	0.7 ± 1.2	3.3 ± 3.1	0.7 ± 1.2	3.7 ± 4.7	1.3 ± 0.6			
	有機質 資材区 牛糞堆肥B	1.0 ± 1.0	1.3 ± 1.2	0.7 ± 1.2	1.3 ± 1.5	0	6.0 ± 5.6	4.0 ± 2.6			
トビムシ類	有機質 資材区 パーク堆肥	3.3 ± 5.8	2.3 ± 2.5	0.7 ± 1.2	4.0 ± 4.0	2.3 ± 2.1	4.0 ± 5.3	8.3 ± 1.5			
	対照区 硫安	2.7 ± 3.8	2.7 ± 4.6	0.3 ± 0.6	2.7 ± 1.5	3.0 ± 4.4	1.3 ± 2.3	6.3 ± 6.8			
	土壌改良 腐熟粉殻	11.7 ± 7.0	1.0 ± 1.0	2.7 ± 3.1	0.7 ± 0.6	3.7 ± 3.5	18.7 ± 16.1	5.7 ± 5.5			
	資材区 粉殻くん炭	6.3 ± 3.2	2.0 ± 0	1.7 ± 0.6	4.0 ± 3.6	5.3 ± 4.6	11.7 ± 6.4	8.3 ± 5.8			
トビムシ類	特殊発酵鶏糞	5.7 ± 7.4	4.7 ± 5.7	4.0 ± 5.2	2.3 ± 2.1	4.7 ± 5.5	17.3 ± 3.2	11.0 ± 12.5			
	有機質 資材区 牛糞堆肥B	36.7 ± 35.1	8.7 ± 7.0	8.0 ± 3.0	4.7 ± 6.4	11.3 ± 11.8	22.0 ± 15.9	20.7 ± 15.5			
	有機質 資材区 パーク堆肥	12.7 ± 4.7	3.0 ± 1.0	5.0 ± 5.3	6.7 ± 2.3	6.7 ± 9.0	21.7 ± 7.2	2.7 ± 0.6			
	対照区 硫安	14.7 ± 9.7	6.0 ± 6.2	1.7 ± 1.5	10.7 ± 10.7	8.7 ± 11.7	17.0 ± 11.5	8.3 ± 4.5			

4. 圃場試験4

確認されたヤドリダニ種は主にクビレマヨイダニであった(第45表)。ヤドリダニ類の密度は、いずれの施用区においても硫安区と比較して高い傾向が見られ、施用から26日後にパーク堆肥区で、35日後に特殊発酵

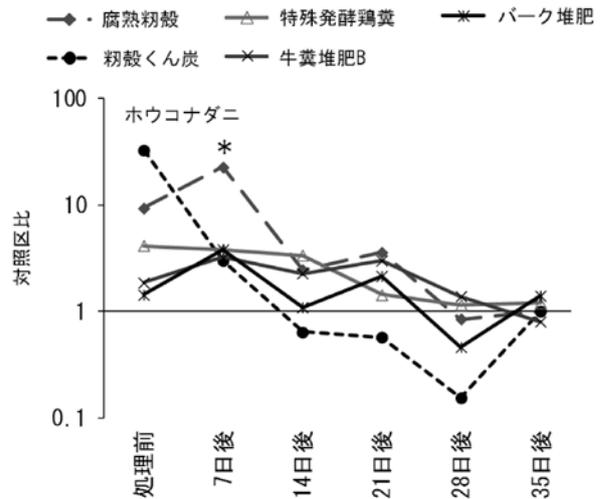


第40図 土壤動物密度推移の対照区との比較(圃場試験1).
* (施用区のx日後密度/施用区の散布前密度)
× (対照区の散布前密度/対照区のx日後密度)
× 100により算出した。

鶏糞区で有意に高くなった。ホウコナダニは魚かす粉末およびパーク堆肥区で密度が高い傾向が見られたが、その他の区では大きな差は見られなかった。トビムシ類はパーク堆肥区で14日後に、魚かす粉末区では26日後に有意に密度が高くなった。いずれの施用区においても26日後に密度が高い傾向が見られた(第46表, 第43図)。

5. 圃場試験5

確認された種は主に *Ascidæ* sp.1, クビレマヨイダニ, タンカンホソトゲダニ, トゲダニモドキ, *C.diviortus* およびマクワカブリダニであった(第47表)。ヤドリダニ類の密度は、菜種かす区で調査期間を通して高く推移し、パーク堆肥区で施用から28日後以降に密度が上昇した。また、菜種かす区で28日後にクビレマヨイダニの、パーク堆肥区で13日後にタンカンホソトゲダニの、特殊発酵鶏糞区で28日後にトゲダニモドキの密度が有意に高くなった。ホウコナダニ密度は粗穀くん炭区を除き調査期間を通して高く推移し、菜種かすおよび魚



第41図 ホウコナダニ密度の対照区比の推移(圃場試験2).
* 密度の実数値を用いたDunnetの検定において、同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第42表 資材圃場施用によるホウコナダニ密度の推移(圃場試験2)

資材区名	土壤100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)					
	処理前	7日後	14日後	21日後	28日後	35日後
土壤改良資材区						
腐熟粗穀	21.3 ± 21.0	37.3 ± 18.6 *	8.7 ± 3.8	8.0 ± 6.1	3.3 ± 4.2	1.3 ± 2.3
粗穀くん炭	75.7 ± 97.0	4.7 ± 5.5	2.0 ± 0.0	1.0 ± 1.0	0.3 ± 0.6	1.3 ± 0.6
有機質資材区						
特殊発酵鶏糞	9.3 ± 16.2	6.0 ± 6.1	12.0 ± 6.6	3.0 ± 2.6	4.7 ± 3.8	1.7 ± 1.5
牛糞堆肥B	4.0 ± 6.1	5.0 ± 1.0	8.0 ± 5.3	6.7 ± 3.8	5.7 ± 6.7	1.0 ± 1.0
パーク堆肥	3.0 ± 5.2	6.0 ± 6.1	3.7 ± 1.5	4.7 ± 2.1	1.7 ± 0.6	2.0 ± 2.6
対照区						
硫安	2.0 ± 2.0	1.3 ± 1.5	3.3 ± 2.5	2.0 ± 1.0	4.0 ± 3.5	1.3 ± 1.5

*Dunnetの検定において、同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第48表 資材圃場施用による主要ヤドリダニ類密度の推移(圃場試験3)

ヤドリダニ類 種名	資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)						
		処理前	7日後	14日後	21日後	27日後	34日後	
<i>P. mica</i>	土壌改良 資材区	腐熟籾殻 籾殻くん炭	2.7 ± 1.5 8.0 ± 8.9	0.3 ± 0.6 0.3 ± 0.6	0 1.0 ± 1.7	2.0 ± 2.0 1.7 ± 0.6	3.0 ± 1.0 2.0 ± 2.0	27.7 ± 14.0 11.7 ± 2.9
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞 牛糞堆肥B バーク堆肥	1.3 ± 1.5 3.0 ± 2.0 2.3 ± 1.2	0.3 ± 0.6 1.0 ± 1.0 1.0 ± 1.0	1.3 ± 1.5 1.3 ± 2.3 2.3 ± 2.3	5.3 ± 4.5 3.0 ± 1.0 2.7 ± 2.1	5.0 ± 2.6 6.7 ± 4.2 4.3 ± 5.1	24.3 ± 4.0 15.7 ± 4.2 32.7 ± 21.2
	対照区	硫安	6.0 ± 4.6	1.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0	3.3 ± 0.6	1.3 ± 0.6	9.3 ± 3.8
	土壌改良 資材区	腐熟籾殻 籾殻くん炭	0 0	0 0	0 0	1.3 ± 1.5 0	0 0.3 ± 0.6	0.7 ± 1.2 3.7 ± 3.5
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞 牛糞堆肥B バーク堆肥	0.7 ± 0.6 0.7 ± 1.2 0.3 ± 0.6	0 1.3 ± 1.5 0	1.3 ± 1.5 0.3 ± 0.6 0.3 ± 0.6	2.7 ± 2.3 1.3 ± 2.3 0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0 1.0 ± 0 1.0 ± 1.0	5.7 ± 2.3 1.3 ± 1.5 1.7 ± 1.5
全発生種計	土壌改良 資材区	腐熟籾殻 籾殻くん炭	3.3 ± 2.1 8.0 ± 8.9	0.3 ± 0.6 1.0 ± 1.7	0.3 ± 0.6 1.0 ± 1.7	3.3 ± 3.5 1.7 ± 0.6	3.0 ± 1.0 2.3 ± 1.5	29.3 ± 15.0 16.0 ± 1.7
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞 牛糞堆肥B バーク堆肥	2.0 ± 2.0 4.0 ± 1.0 3.0 ± 1.7	0.7 ± 0.6 2.3 ± 0.6 2.0 ± 0.0	2.7 ± 0.6 1.7 ± 2.9 2.7 ± 1.2	8.0 ± 6.6 4.3 ± 2.5 3.0 ± 1.7	7.0 ± 1.7 8.0 ± 4.4 5.7 ± 5.7	31.0 ± 6.2 18.3 ± 3.8 35.7 ± 19.5
	対照区	硫安	6.0 ± 4.6	1.7 ± 1.2	1.3 ± 1.2	3.7 ± 1.2	1.3 ± 0.6	12.7 ± 2.5
	土壌改良 資材区	腐熟籾殻 籾殻くん炭	0 0	0 0	0 0	1.3 ± 1.5 0	0 0.3 ± 0.6	0.7 ± 1.2 3.7 ± 3.5
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞 牛糞堆肥B バーク堆肥	0.7 ± 0.6 0.7 ± 1.2 0.3 ± 0.6	0 1.3 ± 1.5 0	1.3 ± 1.5 0.3 ± 0.6 0.3 ± 0.6	2.7 ± 2.3 1.3 ± 2.3 0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0 1.0 ± 0 1.0 ± 1.0	5.7 ± 2.3 1.3 ± 1.5 1.7 ± 1.5

第44表 資材圃場施用によるホウコナダニおよびトビムシ類密度の推移(圃場試験3)

土壌動物名	資材区名	土壌100mlあたりのホウコナダニ成若幼虫数,トビムシ類成若虫数(平均±標準偏差)						
		処理前	7日後	14日後	21日後	27日後	34日後	
ホウコナダニ	土壌改良 資材区	腐熟粉殻 粉殻くん炭	3.7 ± 3.5 3.3 ± 1.2	3.3 ± 1.2 2.7 ± 2.9	26.0 ± 2.6 18.7 ± 9.7	17.0 ± 2.0 20.0 ± 8.5	17.3 ± 13.0 20.0 ± 17.3	8.3 ± 1.2* 2.3 ± 2.1
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞	0.7 ± 0.6	9.3 ± 8.5	16.7 ± 9.1	19.3 ± 3.1	11.0 ± 4.0	5.0 ± 4.6
		牛糞堆肥B	5.3 ± 6.8	13.0 ± 7.9	22.0 ± 14.4	11.7 ± 9.7	11.3 ± 6.7	3.3 ± 3.1
		バーグ堆肥	4.0 ± 3.6	4.3 ± 1.5	32.3 ± 17.0	15.3 ± 7.6	17.3 ± 12.5	4.7 ± 1.2
対照区	硫安	9.0 ± 5.2	9.0 ± 4.4	17.7 ± 3.8	11.0 ± 9.5	7.0 ± 3.0	1.3 ± 1.5	
トビムシ類	土壌改良 資材区	腐熟粉殻 粉殻くん炭	5.3 ± 1.2 11.0 ± 6.1	1.7 ± 2.9 1.7 ± 2.9	4.7 ± 6.4 1.0 ± 1.0	4.0 ± 6.1 5.3 ± 3.8	5.0 ± 5.2 5.7 ± 5.0	9.3 ± 4.5* 0.7 ± 0.6
	有機質 資材区	特殊発酵鶏糞	3.0 ± 4.4	0.7 ± 1.2	3.0 ± 3.0	2.0 ± 1.7	8.3 ± 3.1	5.3 ± 3.2
		牛糞堆肥B	4.0 ± 1.0	1.3 ± 1.5	2.0 ± 0.0	3.3 ± 5.8	3.0 ± 1.0	2.3 ± 2.3
		バーグ堆肥	6.7 ± 4.9	0	3.0 ± 2.0	5.7 ± 7.2	3.0 ± 3.0	1.0 ± 1.0
対照区	硫安	3.3 ± 2.5	2.3 ± 2.1	4.7 ± 3.5	2.3 ± 2.5	2.3 ± 1.2	1.3 ± 1.2	

*Dunnetの検定において, 同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す.

第45表 資材圃場施用による主要ヤドリダニ類密度の推移(圃場試験4)

ヤドリダニ類 種名	資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)							
		処理前	7日後	14日後	21日後	26日後	35日後	41日後	
<i>P. mica</i>	土壤改良資材	24.0 ± 19.7	4.3 ± 2.5	3.3 ± 4.0	1.3 ± 1.2	0	0	0	
	菜種かす	25.3 ± 11.6	0.7 ± 0.6	5.3 ± 3.2	10.3 ± 4.9	1.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	0	
	魚かす粉末	29.0 ± 15.6	0.7 ± 1.2	3.3 ± 3.2	2.0 ± 1.0	1.0 ± 0	0.3 ± 0.6	0	
	特殊発酵鶏糞	23.0 ± 6.1	3.7 ± 2.5	4.0 ± 1.0	6.7 ± 8.1	0	1.0 ± 1.7	0	
	バーク堆肥	5.0 ± 7.8	4.3 ± 4.2	3.7 ± 2.3	3.3 ± 4.0	1.3 ± 1.5	0	0	
対照区	硫安	15.7 ± 2.1	2.0 ± 2.0	0.3 ± 0.6	1.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	
全発生種計	土壤改良資材	24.7 ± 20.8	4.7 ± 3.1	5.0 ± 6.9	2.0 ± 2.0	0.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	0.7 ± 0.6	
	菜種かす	25.7 ± 11.7	1.7 ± 0.6	5.3 ± 3.2	10.3 ± 4.9	1.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	0	
	魚かす粉末	29.3 ± 16.2	0.7 ± 1.2	4.3 ± 3.5	2.0 ± 1.0	1.0 ± 0.0	1.3 ± 1.5	1.3 ± 0.6	
	特殊発酵鶏糞	23.0 ± 6.1	3.7 ± 2.5	4.3 ± 0.6	6.7 ± 8.1	0	3.0 ± 1.0	0.3 ± 0.6	
	バーク堆肥	5.0 ± 7.8	4.3 ± 4.2	4.0 ± 2.6	4.0 ± 3.5	2.3 ± 1.2	0.7 ± 0.6	0.3 ± 0.6	
対照区	硫安	16.0 ± 1.7	2.0 ± 2.0	0.3 ± 0.6	2.0 ± 0.0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	

*Dunnetの検定において、同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第46表 資材圃場施用によるホウコナダニおよびトビムシ類密度の推移(圃場試験4)

土壌動物名	資材区名	土壌100mlあたりホウコナダニ成若幼虫数, トビムシ類成若虫数(平均±標準偏差)							
		処理前				処理後			
		7日後	14日後	21日後	26日後	35日後	41日後		
ホウコナダニ	土壌改良資材区 初穀くん炭	10.3 ± 16.2	13.7 ± 18.6	2.3 ± 3.2	2.0 ± 1.7	0.7 ± 1.2	1.3 ± 0.6	3.0 ± 3.6	
	菜種かす	1.7 ± 2.1	5.7 ± 3.1	2.7 ± 0.6	4.0 ± 3.6	1.3 ± 2.3	3.7 ± 4.7	5.7 ± 2.1	
	魚かす粉末	0	8.3 ± 10.2	4.3 ± 4.9	8.7 ± 4.0	2.7 ± 2.9	5.7 ± 3.1	1.7 ± 0.6	
	特殊発酵鶏糞	1.3 ± 1.5	6.7 ± 7.2	2.3 ± 1.5	2.3 ± 2.1	0.3 ± 0.6	5.3 ± 0.6	0	
	バーグ堆肥	1.0 ± 1.7	32.0 ± 46.9	1.0 ± 1.0	2.3 ± 2.1	8.3 ± 12.7	5.0 ± 2.6	7.3 ± 4.9	
対照区	硫安	3.3 ± 2.1	4.7 ± 8.1	0	3.3 ± 2.5	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.0	6.3 ± 3.1	
トビムシ類	土壌改良資材区 初穀くん炭	1.3 ± 2.3	2.7 ± 1.5	1.0 ± 1.7	1.3 ± 2.3	1.0 ± 1.0	0.3 ± 0.6	0	
	菜種かす	2.7 ± 2.5	1.7 ± 2.1	2.0 ± 1.0	4.3 ± 4.9	3.3 ± 3.1	0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0	
	魚かす粉末	2.7 ± 1.2	1.7 ± 0.6	1.3 ± 0.6	4.3 ± 2.1	7.3 ± 4.5 *	3.3 ± 4.0	0.7 ± 1.2	
	特殊発酵鶏糞	0.7 ± 1.2	5.0 ± 6.1	0.7 ± 0.6	1.7 ± 2.1	4.0 ± 3.0	1.0 ± 1.0	0.3 ± 0.6	
	バーグ堆肥	2.3 ± 2.1	3.7 ± 1.2	2.7 ± 0.6 *	1.3 ± 0.6	2.3 ± 1.5	1.0 ± 1.7	0.7 ± 0.6	
対照区	硫安	2.0 ± 1.0	9.0 ± 13.9	0	2.3 ± 2.5	0.7 ± 0.6	0.7 ± 0.6	0.7 ± 0.6	

*Dunnetの検定において, 同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す.

第47表 資材圃場施用による主要ヤドリダニ類密度の推移(圃場試験5)

ヤドリダニ類 種名	資材区名	土壌100mlあたり成若幼虫数(平均±標準偏差)					
		処理前	7日後	13日後	19日後	28日後	34日後
<i>P.mica</i>	土壌改良資材区	34.7 ± 8.1	0.7 ± 0.6	1.7 ± 1.2	2.3 ± 1.5	6.3 ± 5.1	2.0 ± 2.0
	菜種かす	32.7 ± 6.7	1.0 ± 1.7	3.7 ± 2.1	10.7 ± 2.5	18.3 ± 4.2 *	12.7 ± 5.5
	魚かす粉末	25.7 ± 14.2	3.7 ± 3.1	0.7 ± 1.2	8.0 ± 4.6	6.0 ± 5.3	4.3 ± 1.2
	特殊発酵鶏糞	15.3 ± 8.7	0.7 ± 1.2	1.3 ± 2.3	3.3 ± 2.9	7.0 ± 4.6	3.0 ± 2.6
	バーク堆肥	16.0 ± 16.4	0.7 ± 1.2	3.7 ± 2.5	3.3 ± 3.1	10.3 ± 10.1	4.7 ± 1.5
	対照区	16.7 ± 12.6	0.3 ± 0.6	2.3 ± 1.5	4.7 ± 1.5	4.7 ± 1.5	7.3 ± 6.7
<i>H.praesternalis</i>	土壌改良資材区	1.0 ± 1.0	0	0.3 ± 0.6	1.0 ± 1.0	1.3 ± 1.5	1.0 ± 0.0
	菜種かす	6.7 ± 2.3	0	5.3 ± 1.5	5.0 ± 2.6	11.3 ± 3.2	7.7 ± 3.1
	魚かす粉末	6.0 ± 4.0	1.0 ± 1.0	1.7 ± 2.9	7.0 ± 1.7	3.0 ± 1.0	2.3 ± 1.2
	特殊発酵鶏糞	1.3 ± 1.2	0.3 ± 0.6	0.7 ± 0.6	1.7 ± 2.1	1.3 ± 0.6	2.7 ± 1.5
	バーク堆肥	6.7 ± 6.4	0.7 ± 1.2	6.3 ± 3.5 *	6.0 ± 3.6	15.0 ± 11.3	15.3 ± 14.3
	対照区	4.0 ± 3.0	1.0 ± 1.0	1.3 ± 1.2	2.3 ± 0.6	4.7 ± 1.5	3.0 ± 0.0
<i>H.queenslandicus</i>	土壌改良資材区	0.3 ± 0.6	0	0	0	2.0 ± 0.0	0
	菜種かす	1.7 ± 0.6	0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	1.7 ± 1.2	2.0 ± 1.7
	魚かす粉末	5.3 ± 4.2	0	0	0.7 ± 0.6	1.7 ± 1.5	1.3 ± 1.2
	特殊発酵鶏糞	4.7 ± 3.1	0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	3.7 ± 2.1 *	0.7 ± 0.6
	バーク堆肥	3.0 ± 2.0	0.3 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0.7 ± 1.2	2.7 ± 2.5	3.7 ± 3.5
	対照区	1.3 ± 1.2	0	0.7 ± 0.6	0.3 ± 0.6	0	0.7 ± 0.6
全発生種計	土壌改良資材区	39.3 ± 9.3	3.3 ± 2.5	6.0 ± 3.0	9.0 ± 4.4	14.7 ± 4.7	9.0 ± 2.0
	菜種かす	53.7 ± 5.7	2.7 ± 2.1	18.0 ± 1.0	32.0 ± 2.6 *	48.0 ± 4.4	31.3 ± 6.7
	魚かす粉末	51.7 ± 8.3	6.3 ± 3.5	6.3 ± 6.5	23.3 ± 2.3 *	19.7 ± 8.5	17.7 ± 5.8
	特殊発酵鶏糞	30.7 ± 8.6	5.0 ± 2.0	11.0 ± 6.2	16.0 ± 5.6	21.7 ± 2.9	11.7 ± 3.5
	バーク堆肥	38.7 ± 27.1	4.0 ± 3.6	16.3 ± 7.0	14.7 ± 6.1	47.3 ± 29.4	34.3 ± 21.5
	対照区	29.3 ± 15.0	4.3 ± 2.1	9.7 ± 3.8	12.3 ± 1.5	19.0 ± 3.0	16.0 ± 8.9

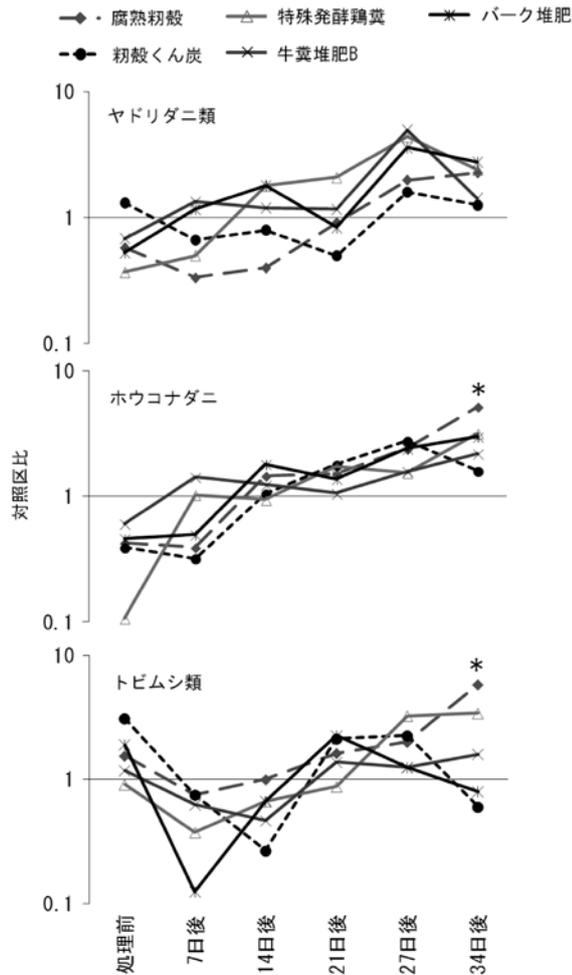
*Dunnettの検定において、同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

第48表 資材圃場施用によるホウコナダニおよびトビムシ類密度の推移(圃場試験5)

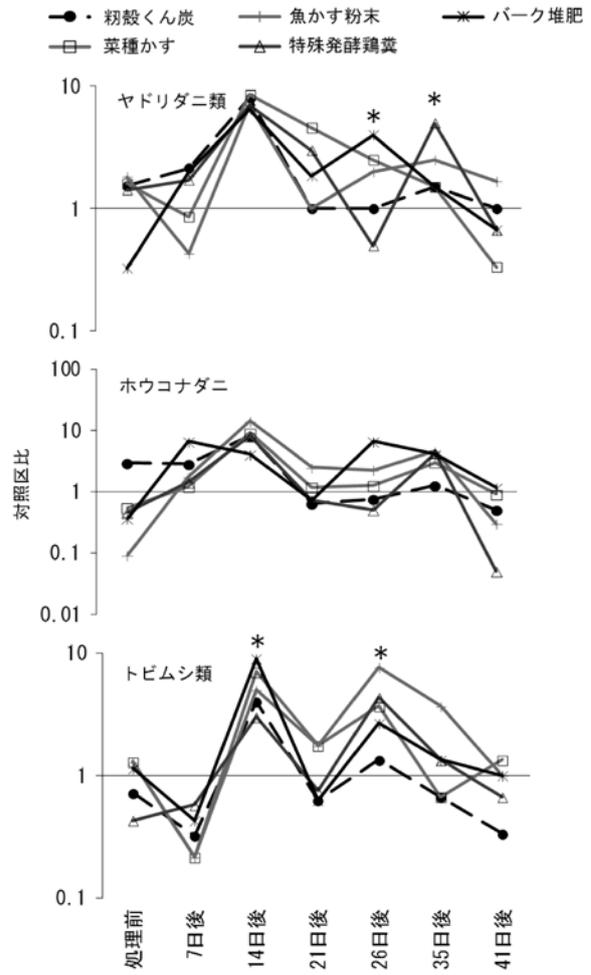
土壌動物名	資材区名	土壌100mlあたりホウコナダニ成若幼虫数, トビムシ類成若虫数(平均±標準偏差)							
		処理前	7日後	13日後	19日後	28日後	34日後		
ホウコナダニ	土壌改良資材区	5.0 ± 4.4	2.0 ± 1.0	1.3 ± 0.6	2.7 ± 2.1	6.0 ± 7.0	12.3 ± 12.3		
	籾殻くん炭	5.0 ± 4.4	2.0 ± 1.0	1.3 ± 0.6	2.7 ± 2.1	6.0 ± 7.0	12.3 ± 12.3		
	菜種かす	10.0 ± 7.0	7.0 ± 5.0	28.7 ± 15.9	99.3 ± 46.2 *	130.7 ± 65.0 *	61.0 ± 29.6		
	魚かす粉末	46.0 ± 40.5	13.0 ± 10.1 *	40.3 ± 22.1	36.0 ± 27.9	30.7 ± 6.1	96.7 ± 30.5 *		
有機質資材区	特殊発酵鶏糞	4.7 ± 3.1	7.0 ± 2.6	15.3 ± 7.6	30.3 ± 6.7	118.7 ± 83.0 *	15.3 ± 18.6		
	バーク堆肥	46.7 ± 70.6	0	25.7 ± 34.9	36.3 ± 43.2	38.0 ± 4.0	52.3 ± 22.4		
	対照区	9.3 ± 7.4	1.3 ± 1.5	2.7 ± 2.1	3.0 ± 2.6	7.0 ± 5.2	8.7 ± 11.6		
	S555	9.3 ± 7.4	1.3 ± 1.5	2.7 ± 2.1	3.0 ± 2.6	7.0 ± 5.2	8.7 ± 11.6		
トビムシ類	土壌改良資材区	4.0 ± 4.0	1.0 ± 1.0	0	0.3 ± 0.6	3.0 ± 4.4 **	0.3 ± 0.6		
	籾殻くん炭	4.0 ± 4.0	1.0 ± 1.0	0	0.3 ± 0.6	3.0 ± 4.4 **	0.3 ± 0.6		
	菜種かす	10.7 ± 12.4	0.7 ± 1.2	1.0 ± 1.0	1.0 ± 1.7	2.3 ± 0.6 **	0.7 ± 0.6		
	魚かす粉末	5.3 ± 5.5	1.7 ± 0.6	2.3 ± 1.5	5.0 ± 4.0	9.0 ± 11.4	21.3 ± 11.6		
有機質資材区	特殊発酵鶏糞	14.0 ± 6.2	1.0 ± 1.0	5.7 ± 5.0	14.3 ± 13.7	21.3 ± 6.1	6.7 ± 5.1		
	バーク堆肥	3.3 ± 3.2	1.3 ± 0.6	7.3 ± 8.4	2.0 ± 1.0	3.7 ± 3.8	5.0 ± 1.0		
	対照区	3.7 ± 2.5	2.3 ± 2.1	1.3 ± 1.5	4.7 ± 2.3	19.0 ± 7.8	9.3 ± 6.5		
	S555	3.7 ± 2.5	2.3 ± 2.1	1.3 ± 1.5	4.7 ± 2.3	19.0 ± 7.8	9.3 ± 6.5		

*Dunnetの検定において, 同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意に密度が高いことを示す.

**Dunnetの検定において, 同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意に密度が低いことを示す.



第 42 図 土壌動物密度の対照区比の推移（圃場試験 3）。
*密度の実数値を用いた Dunnet の検定において、同一調査日の対照区と比較して 5% 水準で有意差があることを示す。



第 43 図 土壌動物密度の対照区比の推移（圃場試験 4）。
*密度の実数値を用いた Dunnet の検定において、同一調査日の対照区と比較して 5% 水準で有意差があることを示す。

かす粉末区では複数の調査日で有意に高かった。トビムシ類は、特殊発酵鶏糞区で調査期間を通して密度が高い傾向があり、籾殻くん炭および菜種かす区では 28 日後に有意に密度が低かった（第 48 表，第 44 図）。

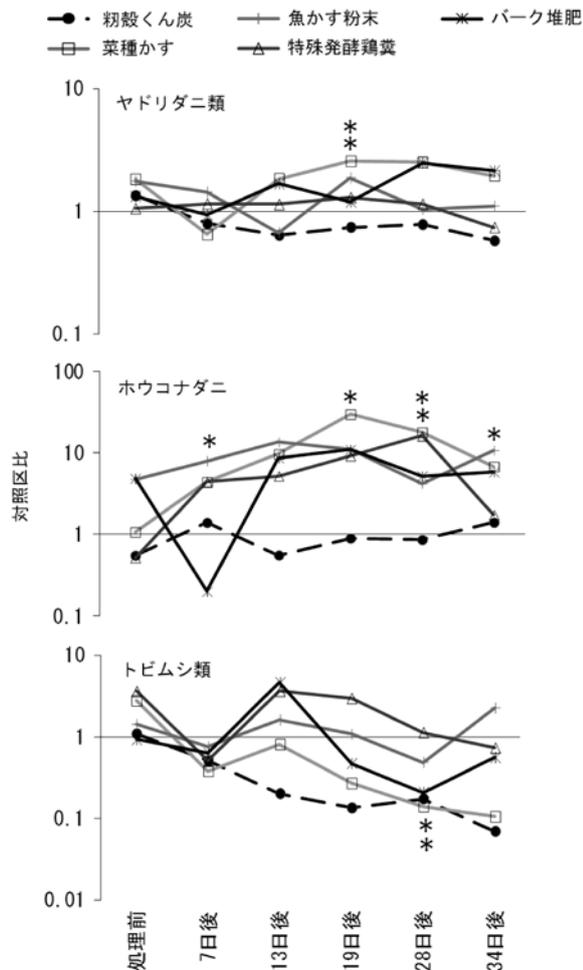
6. 資材圃場施用の評価

以上の資材圃場施用によるヤドリダニ類，ホウコナダニおよびトビムシ類の発生量を対照区と比較して評価し，それぞれ第 49 表，第 50 表および第 51 表に示した。特殊発酵鶏糞，牛糞堆肥 B およびパーク堆肥は圃場施用によってホウコナダニを増やさずヤドリダニ類を増加させ，中でも特殊発酵鶏糞はトビムシ類も増加させる傾向が見られた。籾殻くん炭の施用では，ヤドリダニ類およびトビムシ類の密度増加は見られなかったが，ホウコナダニの密度を低減させる傾向が見られた。

第4節 考察

第1項 ホウコナダニの餌となりにくい有機質資材

施設栽培圃場に有機質資材を施用する目的としては，窒素，リン酸，カリおよび微量元素など，化学肥料に代わる養分の供給源としての利用，団粒化促進による土壌物理性の改善が主に挙げられる（北海道農政部，2005）。一般に，養分供給源としては魚かすや菜種かすのような易分解性の有機質肥料が用いられ，その原料は動物質，植物質など様々である。また，土壌物理性改善のためには堆肥やくん炭に代表される，有機質の分解が進んだ植物質資材が用いられることが多い。未分解の植物質資材である籾殻および菜種かすは，室内試験における松村ら（2004）や増田（2010b）の知見に矛盾せず，土壤に施用した場合においてもホウコナダニが特に増殖しやすい資材であることが確認された（第 38 表）。しかし，動物質資材はホウコナダニの餌として



第44図 土壤動物密度の対照区比の推移 (圃場試験5).
*密度の実数値を用いたDunnettの検定において、同一調査日の対照区と比較して5%水準で有意差があることを示す。

不適であるとされていたにも関わらず、魚かすペレットおよび鶏糞ペレットなどの粒状肥料では、土壤に施用することでホウコナダニ密度が高くなる傾向が見られた(第38表, 第50表)。一方、魚かす粉末では、ほとんどの処理区(ホウコナダニが高密度となった圃場試験5(第44図)を除く)において増加が緩やかであった。本研究で供試した魚かす粉末は植物質資材を含まないが、粒状肥料では主原料をペレット成形する際に、副原料として米ぬかなどの易分解性の植物質を添加することが多いため、これがホウコナダニ増殖の一因となったものと考えられた。また、粉末肥料はロータリーを用いて土壤に混和するとほぼ均一に分散するのにに対し、粒状肥料では土壤中に粒状の有機物の塊が比較的長い期間残存することから、ホウコナダニが集合および定位しやすく、増殖を促進した可能性がある。同一の主原料を用いた肥料であっても、形状によってはホウコナダニの増殖に影響

を及ぼす可能性が示唆されたため、今後検証が必要である。

なお、易分解性有機質の分解が進んだ粉殻くん炭、牛糞堆肥、パーク堆肥および特殊発酵鶏糞を施用した場合には、ホウコナダニ密度は対照と比較してほぼ同等か少ない傾向があった(第38表, 第50表)。以上から、土壤物理性改善の目的で有機質資材を施用する場合は、ホウコナダニに餌として利用されにくく、土壤中での増殖を促進しない、有機質の分解が進んだ資材が適すると考えられた。また、窒素等の養分供給源として易分解性の有機質肥料を利用する必要がある場合は、粒状の資材を避け、粉末状の動物質資材を選択するべきであると考えられた。

第2項 有機質資材を用いたヤドリダニ類の保護利用

ほとんどの有機質資材では、圃場への施用によってヤドリダニ類の密度が増加することが明らかとなった(第37表, 第49表)。一方で、ホウコナダニ密度が上昇した資材では、ヤドリダニ類の密度も高くなる傾向が確認された(第37表, 第38表, 第49表, 第50表)。これらのヤドリダニ類が、密度抑制の対象となるホウコナダニだけを餌として利用するスペシャリスト捕食者であるとするれば、ヤドリダニ類を増殖させるためには害虫であるホウコナダニを増やす必要があることから、有機質資材施用によるヤドリダニ類保護利用の試みは実現の可能性が低いであろう。しかし、資材の埋設を行った試験2および試験5では、ホウコナダニの発生がほとんど見られなかったにも関わらず、資材の種類によってヤドリダニ類の発生量に大きな差が見られた(第33図, 第36図)。ヤドリダニ類の中には腐食性の種も存在するが(青木, 1973)、有機質資材の施用によって密度が増加した種は、主要なホウコナダニ捕食種である *Ascidiae sp.1*, *クビレマヨイダニ*, *タンカンホソトゲダニ*, *トゲダニモドキ*, *ニセハエダニ*および *C. diviortus* (第19表)が中心であったことから(第52表)、ホウコナダニが低密度の条件下でも、捕食性ヤドリダニ類密度の維持は可能であることが示された。第2章において実施したホウコナダニとヤドリダニ類との間、トビムシとヤドリダニ類との間の被食-捕食関係の解析から、ホウレンソウ圃場の主要ヤドリダニ類は、様々な餌生物を利用することが可能なジェネラリスト捕食者である可能性が推察された。一般的に、ジェネラリスト捕食者の密度は、特定の害虫密度と強い関係を持たないことから(Koss et al., 2004)、対象害虫が全く存在しない場合でも他の餌種を捕食することで高密度を維持することができる(Koss

第49表 資材圃場施用のヤドリダニ類発生量に対する評価

資材名	試験期間を通じた評価*					総合評価**	
	圃場試験1	圃場試験2	圃場試験3	圃場試験4	圃場試験5		
土壌改良 資材	腐熟籾殻	○	△	△	—	—	C
	籾殻くん炭	○	△	△	△	△	C
有機質 資材	菜種かす	—	—	—	○	◎	B
	魚かす粉末	—	—	—	△	◎	B
	特殊発酵鶏糞	○	△	○	◎	△	B
	牛糞堆肥B	○	△	○	—	—	B
	バーク堆肥	○	△	○	◎	◎	A
備考	少発生						

*対照と比較して、密度が有意に高い:◎, 高い傾向:○, 同等程度:△, 低い傾向:×, を示す。

**基準をC:対照と同等程度とし, A:大幅に増加, B:増加傾向, D:減少傾向, とした。

第50表 資材圃場施用のホウコナダニ発生量に対する評価

資材名	試験期間を通じた評価*					総合評価**	
	圃場試験1	圃場試験2	圃場試験3	圃場試験4	圃場試験5		
土壌改良 資材	腐熟籾殻	△	×	×	—	—	D
	籾殻くん炭	○	◎	○	○	○	B
有機質 資材	菜種かす	—	—	—	○	×	C
	魚かす粉末	—	—	—	△	×	C
	特殊発酵鶏糞	○	○	○	○	△	B
	牛糞堆肥B	◎	○	○	—	—	B
	バーク堆肥	○	○	○	△	△	B
備考	多発生						

*対照と比較して、密度が低い傾向:◎, 同等程度:○, 高い傾向:△, 有意に高い:×, を示す。

**基準をB:対照と同等程度とし, A:減少傾向, C:増加傾向, D:大幅に増加, とした。

第51表 資材圃場施用のトビムシ類発生量に対する評価

資材名	試験期間を通じた評価*					総合評価**	
	圃場試験1	圃場試験2	圃場試験3	圃場試験4	圃場試験5		
土壌改良 資材	腐熟籾殻	△	△	◎	—	—	C
	籾殻くん炭	△	△	△	△	×	C
有機質 資材	菜種かす	—	—	—	○	×	C
	魚かす粉末	—	—	—	◎	○	B
	特殊発酵鶏糞	△	△	○	○	○	B
	牛糞堆肥B	○	△	△	—	—	C
	バーク堆肥	△	△	△	◎	△	C
備考	少発生						

*対照と比較して、密度が有意に高い:◎, 高い傾向:○, 同等程度:△, 低い傾向:×, を示す。

**基準をC:対照と同等程度とし, A:大幅に増加, B:増加傾向, D:減少傾向, とした。

and Snyder, 2005; Moreno et al., 2010). このため、ホウコナダニが存在しない条件であっても、施用された有機質を腐食して増殖したトビムシ類など、微小な土壤動物を代替餌として利用し、ヤドリダニ類密度が維持されたものと推察された。

従って、ホウコナダニの餌資源としては不適であるが、トビムシ類などヤドリダニ類の代替餌となる土壤動物の発生を促す有機質資材、例えば籾殻くん炭、魚かす粉末、特殊発酵鶏糞、牛糞堆肥およびバーク堆肥などを圃場に

施用することで、ヤドリダニ類の密度を高く維持し、ホウコナダニの密度増加を未然に防ぐことが可能であると考えられた。

なお、本試験において、施用した資材の種類によってヤドリダニ類、ホウコナダニおよびトビムシ類の密度上昇パターンが異なる傾向が確認された(第37図~第39図)。有機質資材のうち、魚かす粉末のような動物質の資材では密度がピークとなるまでの期間が短く、菜種かすなどの植物質の資材では長くなる傾向であった。この

第52表 資材埋設および圃場施用の主要ヤドリダニ類発生量に対する評価

資材名	全試験の総合評価*					
	<i>Ascidae</i> sp.1	<i>P.mica</i>	<i>H.praesternalis</i>	<i>H.queenslandicus</i>	<i>M.similis</i>	<i>C.diviortus</i>
土壌改良 資材	籾殻	◎	◎	◎	○	○
	腐熟籾殻	○	○	○	—	—
	籾殻くん炭	—	○	—	—	—
	ピートモス	—	○	○	○	—
	高分子吸収体	—	○	○	○	—
有機質 資材	菜種かす	◎	○	○	—	○
	魚かすペレット	◎	◎	○	○	○
	魚かす粉末	—	○	—	—	—
	鶏糞ペレット	◎	○	○	○	○
	特殊発酵鶏糞	○	○	○	—	○
	牛糞堆肥A	—	○	—	—	—

*対照と比較して、密度が有意に高くなった試験例がある:◎, 密度が2倍以上高くなった試験例がある:○, いずれの試験においても対照とほぼ同等:—, を示す.

理由の一つとして、資材の窒素分解速度の差が影響していると考えられる。有機物の分解速度は、炭素/窒素濃度の比 (C/N 比) に強く影響され、窒素が多い、つまり C/N 比が低いほど分解速度は速い (石黒ら, 2010)。一般的に動物質資材は C/N 比が低く易分解性であるため、土壌動物への影響が迅速であったが、C/N 比が高い植物質では土壌動物に利用されるまでに時間がかかったものと推察された。しかし、分解速度が遅いと考えられる籾殻、腐熟籾殻およびピートモスなどでも施用直後からヤドリダニ類、ホウコナダニおよびトビムシ類が高密度となる事例が見られた (第 37 図, 第 39 図, 第 41 図)。このことから、有機質資材の施用による土壌動物の密度増加には、資材の分解産物の利用だけでなく、資材の物理的構造なども関与している可能性が高いと推察された。

以上から、有機質資材はヤドリダニ類の被捕食者によって餌として利用される以外にも、捕食者を含む土壌動物に対して住処を提供する機能を持ち、施設園芸で用いられるバンカープラントのように (矢野, 2003; 長坂, 2005; 齊藤, 2005)、天敵を保護する役割を果たすのではないかと推測された。また、生物農薬の大量放飼が実現した場合においても、土壌に混和した有機質資材はこれらの定着性の向上に寄与し、安定した防除効果を示すことが期待できる。今後、生産現場への普及につなげるため、ヤドリダニ類に対して最も保護効果の高い資材を特定し、地上部被害軽減の実証試験を行う必要があると考えられる。

第8章 総合考察

ホウレンソウケナガコナダニ *Tyrophagus similis* Volgin (ダニ亜綱：コナダニ科) はホウレンソウ *Spinacia oleracea* L. の地上部、特に新芽部分を加害する害虫であり (中尾・黒佐, 1988; 春日, 2005), 全国的に被害が発生し問題となっている (春日・天野, 2000). 本種は通常、主に有機物を餌に作土層で生息することから (Kasuga and Amano, 2005; 松村ら, 2009), 慣行的に行われる化学農薬の茎葉散布による防除は根本的な解決となっていないのが現状である. このため、生産現場においては土壤中での密度制御技術の確立が強く求められてきた. これをうけて近年では、被害回避が可能な品種の選定 (高岡, 2010; 安川・松村, 2011), 土壤消毒法 (松村ら, 2005; 浜崎, 2006), 多回数耕起や休作中の多灌水 (松村ら, 2009) などの耕種防除法の試みがなされてきた. しかし、これらの方法では利用できる品種が限られること、処理による効果が一時的であること、圃場の土壤物理性に対する影響が懸念されることなどから、生産現場における実用化には検証が必要であり、依然として効果的な防除法は確立していない.

化学農薬や土壤消毒の利用など効果の持続期間が短い防除法に比較して、施設栽培野菜類の総合的害虫管理技術の基幹を担う生物的防除法は、長期的な害虫密度の抑制が可能であることから、各種作物で利用されている (柏尾ら, 2005; 水久保ら, 2005; 浜村ら, 2005; 齊藤, 2005; 黒木, 2011). 施設栽培ホウレンソウ圃場のホウレンソウケナガコナダニに対しても、根本的に密度を制御する防除手段の一つとして挙げられる. しかし、現在本種に対して登録のある生物農薬は防除効果が不安定であることから、ほとんど利用されていないのが現状である. このため、既存の生物農薬の中からホウレンソウケナガコナダニに適用可能な天敵種の探索が行われ、海外において主にロビンネダニ *Rhyzoglyphus robini* Claparède (コナダニ科) の防除に利用されてきた土壤生活性の捕食性天敵 *Hypoaspis (Gaeolaelaps) aculeifer* (Canestrini) (トゲダニ科) の捕食能力が確認された (Kasuga et al., 2006). しかし、本種は比較的高温性の天敵であり、ホウレンソウケナガコナダニの増殖が活発となる温度範囲では増殖および捕食能力が低いことから、実用化には至っていない. 従って、ホウレンソウ栽培において生物的防除を実施するためには、新たに天敵を探索する必要がある.

既存の生物農薬の多くは海外からの移入種であるが、近年では在来生物群保全の観点から、生態系を攪乱する心配が少ない日本国内産の土着天敵を生物農薬として採用する動きが見られており (Nakahira et al., 2010; Nishikawa et al., 2010; 大井田・上遠野, 2007; 大井田ら, 2007), ホウレンソウケナガコナダニ防除を目的とした天敵生物も国内産の生物資源から探索すべきであると考えた.

ダニ類の生活場所では微小動物間の多様な食物連鎖関係が成り立っていると考えられることから (青木, 1973; Moore et al., 1987; Neher, 1999; 金子, 2007), ホウレンソウケナガコナダニが多発している施設栽培ホウレンソウ圃場の土壤においても、本種を捕食する土着のダニ類が存在すると予想された. 本研究では、圃場周辺に元から存在する土着天敵のうち、捕食性ダニ類の1グループであるヤドリダニ類 (ダニ亜綱:ヤドリダニ団) に着目し、その種構成、ホウレンソウケナガコナダニ捕食者としての能力、生物農薬としての適性、圃場で用いられる殺虫剤による影響の有無などを明らかにし、ホウレンソウ栽培条件下で個体群を維持する方法についても検討した. 本章では、土着ヤドリダニ類を用いた土壤中のホウレンソウケナガコナダニ個体群制御技術の実現性について総合的に考察した.

施設栽培ホウレンソウ圃場からは、少なくとも6種の日本未記録種を含む計16種のヤドリダニ類が確認されたが (第4表, 第6表), ホウレンソウ栽培履歴のない圃場ではホウレンソウケナガコナダニが存在していたにも関わらず、発生種がこれらと大きく異なった (第9表, 第10表). このため、施設栽培ホウレンソウ圃場に存在する主要ヤドリダニ類は、ホウレンソウケナガコナダニと被食-捕食関係にあることが期待されるだけでなく、頻繁に耕起が行われ、1作の間に多湿から乾燥状態まで幅広い水分条件となる、ホウレンソウ圃場特有の土壤条件下において生存に適した種であるものと推察された.

現在、ホウレンソウケナガコナダニに対する生物農薬として、クメリスカブリダニ *Neoseiulus cucumeris* (Oudemans) (カブリダニ科) が農薬登録されている. 本種は実験室内でコナダニ類を好適な餌として利用し、大量増殖にはケナガコナダニ *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) が用いられるもの (足立, 1998), 圃場においてはホウレンソウケナガコナダニに

対する防除効果が不安定である。一方で、本種は野菜類の地上部を加害するアザミウマ類（アザミウマ目）に対しては高い効果が報告されている（柏尾ら, 2005; 黒木, 2011）。本種を含め、カブリダニ類は主に地上部に生息することから（江原, 2009）、植物体上に寄生する害虫に対しては顕著な効果を示すものの、土壌への定着性の低さゆえに、土壌中に生息するハウレンソウケナガコナダニに対しては防除効果が得られにくいものと推察される。以上から、土壌生活性害虫であるハウレンソウケナガコナダニに対する新たな天敵に求められる特性としては、土壌への高い定着性が最も重要となるであろう。このため、ハウレンソウ圃場の土壌に普遍的に存在する土着ヤドリダニ類の中から候補種を選定することで、土壌への定着性が高い捕食種を効率的に得られるものと考えた。

ヤドリダニ類とハウレンソウケナガコナダニ、さらにヤドリダニ類の代替餌となり得るトビムシ類（内顎綱：トビムシ目）の発生活長から、タンカンホソトゲダニ *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann はハウレンソウケナガコナダニと、ニセハエダニ *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi（ハエダニ科）はトビムシ類と同調した密度変動をすることが示され（第8図, 第9図）、それぞれ被食-捕食関係にある可能性が高いと考えられた。一方、*Ascidae* sp.1（マヨイダニ科）、クビレマヨイダニ *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot)（マヨイダニ科）、*Cycetogamasus diviortus* (Athias-Henriot)（ヤドリダニ科）およびアルストンホコダニ *Parholaspulus alstoni* Evans（ホコダニ科）では、ハウレンソウケナガコナダニおよびトビムシ類の密度変動との同調は示されなかった。しかし、これらのヤドリダニ類のほとんどは、実際にハウレンソウケナガコナダニに対する捕食が確認されたことから（第19表）、ハウレンソウケナガコナダニおよびトビムシ類の両者、あるいは他の土壌動物も同程度に選好するジェネラリスト捕食者の可能性があると考えられた。また、それぞれハウレンソウケナガコナダニおよびトビムシ類と被食-捕食関係にあると推測されたタンカンホソトゲダニおよびニセハエダニについても、それぞれの間の相関関係は緩やかであったことから、他の土壌動物も餌として利用している可能性があることが示唆された。

スペシャリスト捕食者を生物的防除に活用する場合、対象害虫の発生が全くない状態では圃場からの分散が起こり、逆に害虫密度が高くなりすぎたからの導入では十分な防除効果が期待できないことから、放飼タイミングを計るために定期的な害虫密度調査を要する（森

ら, 1993; 矢野, 2003; 日本植物防疫協会, 2006; 齊藤, 2007）。多大な労力を要する密度調査を省くため、害虫を人為的に導入してから天敵を放飼するまき餌法や、害虫発生前からの複数回の天敵放飼なども検討されたが、いずれの方法も生産者に好まれず普及していない（森ら, 1993; 矢野, 2003）。これに対して、ジェネラリスト捕食者は対象害虫が全く存在しない場合でも、他の餌種を捕食することで密度を維持することが可能であり（Koss et al., 2004; Koss and Snyder, 2005; Moreno et al., 2010）、放飼のタイミングを図りやすいことから、スペシャリスト捕食者より生物農薬として有利な特性を具えている部分もあると考えられる。以上から、施設栽培ハウレンソウ圃場から見いだしたハウレンソウケナガコナダニ捕食性ヤドリダニ類は、その特有の土壌条件下での生存に適し、さらに広食性であると推測されたため、土壌中のハウレンソウケナガコナダニ個体群制御に活用できる可能性があると考えられた。

ハウレンソウケナガコナダニに対する捕食を確認したヤドリダニ類の中でも、体長が大きい種ほど捕食能力が高いことが明らかとなった（第19表）。特に、中型種のトゲダニモドキ *Hypoaspis (Gaeolaelaps) queenslandicus* (Womersley)、大型種のヤマウチアシボソトゲダニ *Hypoaspis (Euandrolaelaps) yamauchii* Ishikawa、ニセハエダニおよび *C. diviortus* は捕食能力が高く、ハウレンソウケナガコナダニの全生育ステージ（卵を除く）に対して捕食が確認された。さらに、いずれの種も捕食行動に適する温度はハウレンソウケナガコナダニの増殖に好適な 25°C（Kasuga and Amano, 2000）と至近であったため、施設栽培ハウレンソウにおいてハウレンソウケナガコナダニによる被害が深刻となる春期および秋期に捕食行動が活発になると推測され、生物的防除資材としての利用に適した種であると考えられた。

しかし、これら候補種を生物農薬として製剤化する上では、大量増殖法の確立が必須であり、特に餌資源や増殖用培地の安定的な確保は重要な課題である。ハウレンソウケナガコナダニの飼育には相応の環境制御施設を要し、飼育に用いる飼料も高価であることから、本種はヤドリダニ類を大量増殖させるための餌資源としては不適であると考えられる。このため、コスト面で有利な代替餌や人工培地を利用できる種でなければ、製材化は困難であろう。ニセハエダニおよび *C. diviortus* は土壌に代替餌としてケナガコナダニ培地を直接混和した場合は増殖が見られるものの、人工培地（粃殻培地）での代替餌を用いた累代飼育は困難であったことから（第23表）、

今後、大量増殖を目指すには培地や餌種などについて検討が必要である。一方、トゲダニモドキおよびヤマウチアシボトゲダニは、人工培地において代替餌ケナガコナダニを用いた累代飼育が可能であり、飼育の好適温度も比較的低いと推測されたため、低コストでの製剤化が可能であると考えられた。また、両種とも 21 日間という長期間にわたる絶食にも耐えられたことから（第 21 表）、将来的に生産者へ製剤を配布する際の取り扱いに格別の注意を要さないと考えられた。ただし、ヤマウチアシボトゲダニは籾殻を主体とした野積み堆肥から見出されたため、ハウレンソウ圃場の土壌への定着性については詳細な調査を行う必要がある。今後、製剤化の実現には、大量放飼試験によるハウレンソウケナガコナダニ密度抑制能力の評価が必要である。

なお、小型種 *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニ、中型種のタンカンホソトゲダニは捕食量が少ないため（第 19 表）、捕食効率の観点から生物農薬としての実用化は難しいと考えられたが、圃場での発生頻度が高く、短期間で密度が上昇しやすいことから（第 1 図～第 7 図）、ハウレンソウケナガコナダニに対する副次的な防除圧となることが期待される。このため、現時点で大量増殖法が確立していないニセハエダニおよび *C. diviortus* も含め、土壌中でこれらのヤドリダニ類密度を高く維持する方法について検討した。

前述のように、ハウレンソウ圃場に土着のヤドリダニ類は餌としてハウレンソウケナガコナダニだけに依存せず、トビムシ類を含む様々な土壌動物を捕食するジェネラリストである可能性が示唆された。このため、代替餌となる土壌動物を豊富にすることで、ハウレンソウケナガコナダニが低密度の条件下でもヤドリダニ相を厚化できる可能性があると考えられた。地上部に生息する天敵生物に対しては、天敵の餌、代替寄主、生息場所などの供給に関連する植生管理が最も効果的な保護技術である（浜崎，2003）。しかし、単一の作物をおよそ 30 日間という短期間で栽培する施設栽培ハウレンソウにおいては、植生管理の代表的な手法である他作物との混播や、時間差を設けた刈り取りなどは不可能であり、また、地上部の植生管理が土壌中に生息するヤドリダニ類保護に関与する可能性も高くないものと推測される。このため、本研究では土壌に直接混和できる有機質資材および土壌改良資材に着目し、ハウレンソウケナガコナダニに餌として利用されにくく、かつ、ヤドリダニ類の代替餌となり得るトビムシ類などの動物群集が増加しやすい資材を探索することとした。

未分解の植物質資材である籾殻および菜種かすは、松

村ら（2004）や増田（2010b）の室内での飼育試験における知見と矛盾せず、圃場に施用してもハウレンソウケナガコナダニが増殖しやすいことが確認された。本種の餌として不適であると考えられていた動物質資材であっても、魚かすペレットおよび鶏糞ペレットでは、土壌に施用した場合には密度が高くなる傾向が見られたことから（第 38 表、第 50 表）、長期間土壌中で残存しやすい形状の肥料はハウレンソウケナガコナダニの増殖に影響する可能性があると推測された。一方、有機質の分解が進んだ籾殻くん炭、特殊発酵鶏糞、牛糞堆肥およびパーク堆肥は、ハウレンソウケナガコナダニに利用されにくいと考えられた。以上から、土壌中のハウレンソウケナガコナダニ増殖を防止するために、植物質肥料、粒状の動物質肥料および未熟堆肥などの利用は避けるべきであると考えられた。

また、ヤドリダニ類のうち、*Ascidae* sp.1、クビレマヨイダニ、タンカンホソトゲダニ、トゲダニモドキ、ニセハエダニおよび *C. diviortus* など主要なハウレンソウケナガコナダニ捕食種は、ほとんどの有機質資材施用区において密度が増加した（第 52 表）。ヤドリダニ類が高密度で発生した資材施用区ではトビムシ類の密度も高い傾向が見られたため（第 37 表、第 39 表）、主要ヤドリダニ類はトビムシ類などの微小土壌動物を代替餌として密度が上昇したものと推察された。従って、ハウレンソウケナガコナダニの増殖には不適であり、かつ、微小土壌動物の発生を促す資材、例えば籾殻くん炭、魚かす粉末、特殊発酵鶏糞、牛糞堆肥およびパーク堆肥などを圃場に施用することで、潜在的な防除圧として働くヤドリダニ類とその代替餌を保護することができ、ハウレンソウケナガコナダニの密度増加を未然に防ぐ可能性があると考えられた。

また、代替餌の提供とともに、生息場所の提供も土着天敵の保護に重要な技術である（矢野，2003）。例えば Hodek(1973) は、テントウムシ類に対して越冬に適した物理的構造を提供することで、生存率が改善することを報告している。籾殻に代表されるように、有機質資材はそれ自身が立体構造を持つものも多く、さらに土壌に施用することで土壌の団粒化を促進することから（北海道農政部，2005）、被捕食者となる微小土壌動物の餌資源として利用される以外にも、空隙の維持や通気性の向上などによってヤドリダニ類の居住空間を確保する役割を果たすのではないかと考えられた。

有機栽培実施圃場を除いて、施設栽培ハウレンソウ圃場では化学農薬が併用されることが多いが、土壌消毒剤以外の殺虫剤は土壌中のヤドリダニ類に顕著な影響は

見られないことが明らかとなった（第25図～第31図，第27表，第28表）。以上から，ハウレンソウ栽培において問題となるハウレンソウケナガコナダニに対し，慣行防除法にヤドリダニ類の大量放飼または有機質資材による保護活用法を組み込んだ，新たな防除体系が実現可能であると考えられた。今後，持続的なコナダニ個体群制御法確立のため，生物農薬の実用化や有機質資材施用による地上部被害軽減の実証試験などの実施が必要である。

第9章 要約

本研究では、施設栽培ホウレンソウの茎葉部を加害するホウレンソウケナガコナダニ *Tyrophagus similis* Volgin (ダニ亜綱：コナダニ科；以下、ホウコナダニと略記) に対して、土着の捕食性天敵であるヤドリダニ類 (ダニ亜綱：ヤドリダニ団) を活用した個体群制御技術の開発を目指し、ホウレンソウ圃場におけるヤドリダニ類の種構成、それらのホウコナダニ捕食者としての能力、生物農薬としての適性、圃場で用いられる殺虫剤による影響の有無などを明らかにし、ホウレンソウ栽培条件下での保護利用法について検討した。

1. ホウレンソウ圃場における土着ヤドリダニ相

北海道の施設栽培ホウレンソウ圃場における土着ヤドリダニ類の種構成を明らかにし、土壌中のホウコナダニおよびトビムシ類 (内顎綱：トビムシ目) の密度増減と、主要ヤドリダニ類の密度増減の相関関係から被食-捕食関係について考察した。

ホウレンソウ圃場におけるヤドリダニ相は、複数の圃場ではほぼ共通しており、*Ascidae* sp.1 (マヨイダニ科)、*Ascidae* sp.2, *Hypoaspis* sp. (トゲダニ科)、*Macrocheles* sp. (ハエダニ科)、*Cycetogamasus diviortus* (Athias-Henriot) (ヤドリダニ科) およびアルストンホコダニ *Parholaspulus alstoni* Evans (ホコダニ科) の出現頻度や発生頭数が多かった。一方、ホウレンソウ栽培履歴のない圃場では、発生種が非常に異なっていた。ヤドリダニ類の種構成および発生量は、ホウコナダニ密度が同程度の圃場や、同一の生産者が管理する圃場間においても変動したが、同一圃場内ではほぼ同じであった。ほとんどのヤドリダニ類は深さ 0 ~ 5cm の表層土壌で密度が最も高く、深度が深くなるに従って低くなる傾向が見られたが、トゲダニモドキ *Hypoaspis* (*Gaeolaelaps*) *queenslandicus* (Womersley) だけは、深い深度での構成割合が高かった。

発生時期についてみると、*Ascidae* sp.2 は夏季から秋季にかけて発生が多く、好適な時期だと考えられた。*Macrocheles* sp. は発生期間が比較的短いことや、土壌消毒後も速やかに密度が回復したことから、断続的に圃場へ侵入していると推測された。これ以外の種には明瞭な季節消長が見られなかった。

Hypoaspis sp. はホウコナダニと、*Macrocheles* sp. はトビムシ類と同調した密度変動をすることから、それぞれを餌として利用している可能性が高いと考えら

れた。ただし、これらの種を含め、いずれも特定の被食者密度と強い相関関係を持たなかったことから、ジェネラリスト (広食性) である可能性が示唆された。

2. 土着ヤドリダニ種の記載

ホウレンソウ圃場より確認された日本未記録ヤドリダニ類 3 種について、分類形質や生殖方法などを調査し、種の同定を行った。

Ascidae sp.2 は本邦未記録種 *Protogamasellus mica* Karg と同定された。また、未報告であった雄成虫を発見し、和名をクビレマヨイダニ属クビレマヨイダニと提案した。*Hypoaspis* sp. は *Hypoaspis* (*Gaeolaelaps*) *praesternalis* Willmann と同定され、和名をタンカンホソトゲダニと提案した。*Macrocheles* sp. は本邦未記録種 *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi と同定され、和名をニセハエダニと提案した。

3. ホウコナダニ捕食種のスクリーニング

多様なヤドリダニ類を含むホウレンソウ圃場の土壌および籾殻主体の野積み堆肥から、ホウコナダニ捕食種のスクリーニングを試みた。

試料への培地の添加によって各種土壌動物も増殖したため、ホウコナダニを餌として利用できないヤドリダニ類であっても増殖可能な条件であったが、ヤドリダニ類を実体顕微鏡下で観察可能な密度まで高めることができた。また、採取直後の試料からは未確認であったヤマウチアシボソトゲダニ *Hypoaspis* (*Euandrolaelaps*) *yamauchii* Ishikawa を含む 3 種を、本操作によって新たに確認することができた。

4. ホウコナダニ捕食能力

主要ヤドリダニ類のホウコナダニに対する捕食能力を明らかにし、代替餌を用いた累代飼育の可否や絶食耐久性などについても調査して、新たな生物農薬の候補種を探索した。

小型種 *Ascidae* sp.1 およびクビレマヨイダニ、中型種タンカンホソトゲダニおよびトゲダニモドキ、大型種ヤマウチアシボソトゲダニ、ニセハエダニおよび *C. diviortus* は、いずれもホウコナダニを捕食することが明らかとなった。中型種のトゲダニモドキと大型 3 種はホウコナダニ捕食能力が高く、卵を除く全生育ステージに対して捕食が確認された。いずれの種もホウコナダニ

成虫よりも幼虫に対する選好性が高い傾向が見られた。捕食行動に適する温度帯はトゲダニモドキおよびニセハエダニで20～30℃、ヤマウチアシボソトゲダニで20～25℃、*C. diviortus*では15～30℃であった。トゲダニモドキおよびヤマウチアシボソトゲダニは絶食耐久性が高く、籾殻培地においてケナガコナダニ *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) を代替餌に用いた累代飼育が可能であった。一方、ニセハエダニおよび *C. diviortus* ではケナガコナダニを用いた累代飼育が困難であった。

5. 化学農薬の影響

化学農薬を利用したハウレンソウ栽培においてもヤドリダニ類が活用可能であるか明らかとするため、茎葉散布殺虫剤、土壌施用殺虫剤および土壌消毒剤による影響を調査した。

供試した茎葉散布剤3種（DDVP乳剤、エマメクチン安息香酸塩乳剤およびフルフェノクスロン乳剤）は、各薬剤の1回散布、生産者慣行法での複数回散布のいずれの方法でも土壌中のヤドリダニ類に対し影響を与えなかった。土壌施用剤のうちDCIP粒剤では、施用直後にはタンカンホソトゲダニの密度がやや低くなったが、処理15日後には再発が確認され、影響は一時的であった。カーバムナトリウム塩液剤による土壌消毒直後は、ヤドリダニ類を含む土壌動物に対して影響があり、特にタンカンホソトゲダニおよび *C. diviortus* に対して影響が大きい可能性が示された。なお、*Ascidae* sp.1、クビレマヨイダニおよびニセハエダニに対する影響は一時的であった。

6. 圃場への資材施用による保護利用

ハウコナダニ増殖を未然に防ぐ土壌条件をつくるため、本種に餌として利用されにくく、ヤドリダニ類やトビムシ類など土壌動物群集の密度が増加しやすい資材を各種有機質資材および土壌改良資材から探索した。

未分解の植物性資材である籾殻および菜種かすは、ハウコナダニが特に増殖しやすい資材であった。室内試験によってハウコナダニの増殖に不適とされていた動物質資材うち、魚かすペレットおよび鶏糞ペレットの粒状資材では、土壌施用によってハウコナダニ密度が高くなる傾向が見られた。易分解性有機質の分解が進んだ籾殻くん炭、特殊発酵鶏糞、牛糞堆肥およびバーク堆肥では、ハウコナダニの増殖は化学肥料と比較してほぼ同等程度か少ない傾向があった。

ほとんどの有機質資材では、圃場への施用により主要なハウコナダニ捕食性ヤドリダニ類およびトビムシ類の

密度が増加した。このことは、有機資材の有効性を強く示唆していた。

Studies of Techniques to Control the Acarid Mite, *Tyrophagus similis* Volgin (Acari: Acaridae) by Using Indigenous Predatory Mites (Acari: Gamasina) in Spinach Greenhouses

by

Miki Saito

This study aimed to develop techniques to control the acarid mite, *Tyrophagus similis* Volgin (Acari: Acaridae), which infests the leaves and stems of spinach, by using indigenous predatory mites (Acari: Gamasina) in the soil.

1. Predatory Mite Fauna of Spinach Fields

First, the indigenous predatory mite species found in spinach fields of Hokkaido were identified. Predator-prey relationship was then hypothesized on the basis of correlations of population density fluctuations of predatory species with that of both *T. similis* and the springtails (Entognatha: Collembola).

There were many predatory mite species in spinach fields. High frequencies and incidences of Ascidae sp.1, Ascidae sp.2, *Hypoaspis* sp., *Macrocheles* sp., *Cycetogamasus diviortus* (Athias-Henriot), and *Parholaspulus alstoni* Evans were observed. However, the incidences of species differed greatly among fields with no prior history of spinach cultivation.

The population density fluctuations of *Hypoaspis* sp. and *Macrocheles* sp. were synchronous with those of *T. similis* and springtails, respectively. Therefore, it is considered highly likely that *Hypoaspis* sp. and *Macrocheles* sp. prey on the saprophagous arthropods *T. similis* and springtails, respectively.

2. Taxonomic Characteristics

In this chapter, I examined the taxonomic characteristics and methods of reproduction of predatory mite species that had not been recorded previously in Japan.

Ascidae sp.2 was identified as *Protogamasellus mica* (Athias-Henriot) and was given the Japanese name “*Kubire-mayoidani*.” Furthermore, the males of this species were recorded for the first time. *Hypoaspis* sp. was identified as *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann and was given the Japanese name “*Tankan-hosotogedani*.” *Macrocheles* sp. was identified as *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi and was given the Japanese name “*Nise-haedani*.”

3. Proliferation

The proliferation of predatory mites living in the soil of spinach fields and rice husk compost was attempted.

The numbers of soil-dwelling organisms increased after adding *T. similis* cultures to the soil and compost; the conditions were also suitable for increases in the number of mite species that could not prey on *T. similis*. Then, the population densities of potential predator species of *T. similis* increased to such an extent that they could be easily observed under a dissecting stereomicroscope. In addition, 3 species of mites that had not been previously identified from both fresh soil and compost, including *Hypoaspis (Euandrolaelaps) yamauchii* Ishikawa, could be collected in this procedure.

4. Predatory Ability

The predation capacities of predatory mites living in the soil of spinach fields and rice husk compost against *T. similis* were evaluated under laboratory conditions.

It was revealed that 7 species could prey on *T. similis*. Large-sized species, such as *Hypoaspis (Gaeolaelaps) queenslandicus* (Womersley), *H. yamauchii*, *M. similis*, and *C. diviortus*, showed a high degree of predatory ability; these species were found to

feed on any of the different stages of *T. similis*, except the egg stage. A significant tendency towards preference for larvae rather than adult mites was observed.

The ideal ambient temperature range for predatory activity of *H. queenslandicus* and *M. similis* were found to be between 20°C and 30°C, and those for *H. yamauchii* was between 20°C and 25°C and for *C. diviortus* was between 15°C and 30°C. Furthermore, *H. queenslandicus* and *H. yamauchii* were found to have high levels of fasting endurance and could be bred successfully using *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) as a replacement feed within the rice husks.

5. Effects of Pesticides

Chemical pesticides are likely to be used in conjunction with biological control agents during the cultivation of spinach. Therefore, the effects of insecticides on predatory mites were examined.

It was assessed and confirmed that the use of insecticide sprays whether once or multiple times had almost no effect on the predatory mite population in the soil. Among the pesticides applied directly to the soil, 2,6-dichloroindophenol (DCIP) granules caused *H. praesternalis* population densities to decrease to some extent immediately after application. However, this effect was temporary. Soil sterilization by using sodium methylthiocarbamate (carbam-sodium) solution greatly affected the numbers of organisms in the soil, including the predatory mites; however, this effect was only temporary regarding the numbers of *Ascidae* sp.1, *Ascidae* sp.2, and *M. similis*.

6. Conservation of predators in Fields

To create soil conditions that prevent *T. similis* from breeding, the organic materials that could not easily be utilized as food source by *T. similis* were assessed. These organic materials, however, could be used to facilitate an increase in population densities of indigenous predatory mites and springtails.

Intact plant matter such as rice husks and rapeseed meal were observed to be particularly favorable for *T. similis* breeding. Although animal matters have been considered unsuitable for *T. similis* breeding during laboratory testing, one-time application of pelletized materials was shown to favor the increase of *T. similis* population.

The use of decomposing organic materials, such as rice husk charcoal, fermented poultry manure charcoal, cattle manure, and bark compost, enabled *T. similis* breeding tendencies to reach an almost equal or slight lesser breeding tendency than that by using chemical fertilizers.

Furthermore, when almost any kinds of organic materials were applied to the cultivated land, the population density of predatory mites and springtails increased, showing the availability of such materials.

引用文献

- 安倍 弘・青木淳一・後藤哲雄・黒佐和義・岡部貴美子・芝 実・島野智之・高久 元 (2009) ダニ亜綱の高次分類群に対する和名の提案. 日本ダニ学会誌 18: 99-104.
- 足立年一 (1998) ククメリスカブリダニの使い方. トーマン農業ガイド 88: 5-9.
- 天野 洋・後藤哲雄 (2009) 植物ダニ類の標本作製法と飼育法. 原色植物ダニ検索図鑑 (江原昭三・後藤哲雄編). 全国農村教育協会, 東京, pp.301-311.
- 青木淳一 (1973) 土壤動物学. 北隆館, 東京, 814pp.
- 青木淳一 (2001) 土のダニ. ダニの生物学 (青木淳一編). 東京大学出版会, 東京, pp.22-32.
- 青木克典・柳瀬関三 (2004) ホウレンソウにおけるタネバエの防除法. 関西病虫害研究会報 46: 101-102.
- Athias - Henriot, C. (1961) Mesostigmates (Urop. excl.) edaphiques Méditerranéens (Acaromorpha, Anactotrichida). Première serie. *Acarologia* 3: 381-509.
- Beaulieu, F. (2009) Review of the mite genus *Gaeolaelaps* Evans & Till (Acari: Laelapidae), and description of a new species from North America, *G. gillespiei* n. sp. *Zootaxa* 2158: 33-49.
- ベゴン・マイケル, ジョン・ハーパー, コリン・タウンゼンド (1996) [堀 道雄 監訳, 2003] 生態学: 個体・個体群・群集の科学 (原著第 3 版). 京都大学学術出版会, 京都, 1304pp.
- Costa, M. (1966) A redescription of *Hypoaspis queenslandicus* (Womersley, 1956) comb. nov. (acari, mesostigmata) with notes on the genus *Hypoaspis* Canestari. *Israel Journal of Zoology* 15: 141-147.
- Costa, M. (1968) Little known and new litter-inhabiting laelapine mites (Acari, Mesostigmata) from Israel. *Israel Journal of Zoology* 17: 1-30.
- Danielsson, R. (1984) Polyviol as a mounting medium for aphids (Homoptera: Aphidoidea) and other insects. *Entomologica Scandinavica* 15: 383-385.
- 堂園いくみ・横山 潤 (2007) セイヨウオオマルハナバチがエゾエンゴサクの種子生産に与える影響. 日本応用動物昆虫学会大会講演要旨 51: 190.
- 江原昭三・真梶徳純 (1975) 農業ダニ学. 全国農村教育協会, 東京, 328pp.
- 江原昭三 (2003) カブリダニ科. 第 1 回日本産生物種数調査 (日本分類学会連合 編). <http://research2.kahaku.go.jp/ujssb/>
- 江原昭三 (2009) カブリダニ科の概説と同定. 原色植物ダニ検索図鑑 (江原昭三・後藤哲雄 編). 全国農村教育協会, 東京, pp.260-277.
- Evans, G. O. and W. M. Till (1966) Studies on the British Dermanyssidae (Acari: Mesostigmata): Part II. Classification. *Bulletin of the British Museum (Natural History) Zoology* 14: 107-370.
- Evans, G. O. (1982) Observations of the genus *Protogamasellus* Karg (Acari: Mesostigmata) with a description of a new species. *Acarologia* 23: 303-313.
- 藤本 清・足立年一 (1977) ナス育苗床でのケナガコナダニの発生と防除. 日本応用動物昆虫学会中国支部会報 19: 1-7.
- Genis, N. de L., G. C. Loots and P. A. J. Ryke (1967) The genus *Protogamasellus* Karg (Acari) with descriptions of new species and subspecies from the Ethiopian region. *Journal of Natural History* 1: 337-353.
- Gerson, U. and R. Smiley (1990) Acarine Biological Control Agents: *An Illustrated Key and Manual*. Chapman & Hall, London, 174pp.
- 五箇公一・岡部貴美子・丹羽里美・米田昌浩 (2000) 輸入されたセイヨウオオマルハナバチのコロニーより検出された内部寄生性ダニとその感染状況. 日本応用動物昆虫学会誌 44: 47-50.
- 浜 弘司 (1992) 害虫はなぜ農薬に強くなるか: 薬剤抵抗性のしくみと害虫管理. 農山漁村文化協会, 東京, 189pp.
- 浜村徹三・長坂幸吉・高井幹夫・高橋尚之 (2005) 施設ナスの IPM マニュアル. IPM マニュアル: 総合的病害管理技術 (梅川 學・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 編). 養賢堂, 東京, pp.29-49.
- 浜崎健司 (2006) 夏どりホウレンソウにおけるタネバエ, コナダニ類の農薬に頼らない被害回避技術. 岐阜県中山間農業技術研究所試験研究成績概要書平成 18 年度: 1-6.
- 島山修一 (2010) 天敵温存によるナン栽培でのハダニ類防除. 埼玉県農林総合研究センター研究報告 9: 1-8.
- Hennessey, M. K. and M. H. Farrier (1989) Mites of the family Parasitidae (Acari: Mesostigmata)

- inhabiting forest soils of North and South Carolina. *North Carolina Agricultural Research Service Technical Bulletin* 291: 1-78.
- Hertenstein, R. (1962) Life history studies of *Pergamasus crassipes* and *Amblygamasus septentrionalis* (Acarina: Parasitidae). *Annals of the Entomological Society of America* 55: 196-202.
- Hodek, I. (1973) *Biology of Coccinellidae*. Academia, Prague, 260pp.
- 北海道農政部 (2005) 北海道における有機質資材の利用ガイド. 北海道農業改良普及協会, 札幌, 142pp.
- 堀之内勇人・渡辺秀樹・浅野雄二・五十川悦司・山内智史 (2011) ホウレンソウベと病菌レース 8 に対する抵抗性品種の探索. 関西病虫害研究会報 53: 53-54.
- 星野 滋 (2011) ホウレンソウケナガコナダニの総合防除法の開発. 広島県立総合技術研究所農業技術センター平成 23 年度研究成果情報集: 5-6.
- 星野 (高田) 裕子・松本直幸・西村範夫・藤田和久・紀岡雄三 (2005) 病害防除と微生物多様性: 土壌消毒が微生物群集及び植物病原菌に与える影響解析. 土と微生物 59: 77-82.
- 石黒 泰・北村 怜・澤頭勇次・福井博一 (2010) パーク堆肥の堆肥化過程に及ぼす堆積原料の C/N 比と窒素量の影響. 農作業研究 45(3): 175-181.
- Ishikawa, K. (1980) Taxonomic and ecological studies in the family Parholaspididae (Acari, Mesostigmata) from Japan (Part 2). *Bulletin of the National Science Museum. Series A, Zoology* 6: 1-25.
- Ishikawa, K. (1982) Gamasid mites (Acarina) found in the subterranean domain of Southwest Japan. *Journal of the Speleological Society of Japan* 7: 88-100.
- 石川和男・高久 元 (2003) ヤドリダニ科他. 第 1 回日本産生物種数調査 (日本分類学会連合 編). <http://research2.kahaku.go.jp/ujssb/>
- Ito, Y. (1970) Preliminary surveys on macrochelid and some other mesostigmatid mites occurring in the experimentally deposited live-stock dung as predators of muscid flies. *Medical Entomology and Zoology* 21: 205-208.
- Ito, Y. (1971) Predation by manure-inhabiting mesostigmatids (Acarina: Mesostigmata) on some free-living nematodes. *Applied Entomology and Zoology* 6: 51-56.
- Ito, Y. (1973a) The effects of nematode feeding on the predatory efficiency for house fly eggs and reproduction rate of *Macrocheles muscaedomesticae* (Acarina: Mesostigmata). *Medical Entomology and Zoology* 23: 209-213.
- Ito, Y. (1973b) Effect of isolation on the moult of *Parasitus* sp.: Deutonymphs (Acarina: Mesostigmata). *Applied Entomology and Zoology* 8: 1-7.
- 伊戸泰博 (1978) ヤドリダニ類の生態と害虫捕食能に関する研究. 農業技術研究所報告 H51: 1-93.
- 伊藤良作・須磨靖彦・田中真悟 (1999) トビムシ目. 日本産土壌動物: 分類のための図解検索 (青木淳一 編). 東海大学出版会, 神奈川, pp.724-787.
- 糸山 享・新山徳光 (2005) 秋田県におけるホウレンソウケナガコナダニの発生状況と防除上の問題点. 北日本病虫害研究会報 56: 152-154.
- 岩崎暁生・三宅規文・武澤友二 (2006) 北海道におけるマレーゼトラップによるタネバエ成虫の捕獲消長と卵巣発育推移による発生世代数の推定. 北日本病虫害研究会報 57: 145-147.
- Jess, S. and J. F. W. Bingham (2004) Biological control of sciarid and phorid pests of mushroom with predatory mites from the genus *Hypoaspis* (Acari: Hypoaspididae) and entomopathogenic nematode *Steinernema feltiae*. *Bulletin of Entomological Research* 94: 159-167.
- 金子信博 (2007) 土壌生態学入門: 土壌動物の多様性と機能. 東海大学出版会, 神奈川, 212pp.
- Karg, W. (1962) Zur Systematic und postembryonalen Entwicklung der Gamasiden (Acarina, Parasitiformes) Landwirtschaftlich Genutzter Boden. *Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin* 38: 23-119.
- Karg, W. (2007) New taxonomic knowledge of soil-inhabiting predatory mites (Acarina, Gamasina: Rhodacaroidea, Dermanyssoidea, Ascoidea). *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz* 78(2): 113-139.
- 柏尾具俊・西 和文・坂田好輝・岩波 徹・小坂橋基夫・行徳 裕・江口武志・横山 威 (2005) 施設メロンの IPM マニュアル. IPM マニュアル: 総合的病害虫管理技術 (梅川 學・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 編). 養賢堂, 東京, pp.50-63.
- Kasuga, S. and H. Amano (2000) Influence of temperature on the life history parameters of *Tyrophagus similis* Volgin (Acari: Acaridae).

- Applied Entomology and Zoology* 35: 237-244.
- 春日志高・天野 洋 (2000) 管理戦略の確立へ向けたケナガコナダニ属のハウレンソウ加害実態調査. 日本ダニ学会誌 9: 31-42.
- Kasuga, S. and H. Amano (2003) Seasonal prevalence and susceptibility to agrochemicals of *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae) in spinach buds and agricultural soil under greenhouse conditions. *Experimental and Applied Acarology* 30: 279-288.
- Kasuga, S. and H. Amano (2005) Spatial distribution of *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae) in agricultural soils under greenhouse conditions. *Applied Entomology and Zoology* 40: 507-511.
- 春日志高 (2005) ハウレンソウケナガコナダニの生態的特性と防除のポイント. 今月の農業 49(6): 56-61.
- Kasuga, S. and K. Honda (2006) Suitability of organic matters, fungi and vegetables as food for *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae). *Applied Entomology and Zoology* 41: 227-231.
- Kasuga, S., H. Kanno and H. Amano (2006) Development, oviposition, and predation of *Hypoaspis aculeifer* (Acari: Laelapidae) feeding on *Tyrophagus similis* (Acari: Acaridae). *Journal of the Acarological Society of Japan* 15: 139-143.
- 桐谷圭治 (2009) 総合的生物多様性管理. 生物間相互作用と害虫管理 (安田弘法・城所 隆・田中幸一 編). 京都大学出版会, 京都, pp.245-268.
- 岸田久吉 (1940) 蠶兒の害蟬に就いて. 応用動物学雑誌 12: 113-116.
- 木浦卓治 (2002) 天敵カルテへの誘い. 農業情報利用 33: 12-14.
- 小林義明・深沢永光 (1983) コナダニによる農作物被害とその防除, 並びに同時発生するホコリダニとの関連. 静岡県農業試験場研究報告 28: 33-42.
- Koehler, H. H. (1999) Predatory mites (Mesostigmata, Gamasina). *Agriculture Ecosystems & Environment* 74: 395-410.
- Koss, A. M., G. C. Chang and W. E. Snyder (2004) Predation of green peach aphids by generalist predators in the presence of alternative, Colorado potato beetle egg prey. *Biological Control* 31: 237-244.
- Koss, A. M. and W. E. Snyder (2005) Alternative prey disrupt biocontrol by a guild of generalist predators. *Biological Control* 32: 243-251.
- Krantz, G. W. and Fillipponi, A. (1964) Acari della famiglia Macrochelidae (Mesostigmata) nella collezione del South Australian Museum. *Rivista di parassitologia* 25: 35-54.
- Krantz, G. W. and D. E. Walter (2009) *A Manual of Acarology*, 3rd Edition. Texas Tech University Press, Texas, 807pp.
- 黒木修一 (2011) IPM のさらなる普及・推進に向けて: 宮崎県における ICM の推進. 植物防疫 65: 404-408.
- Lesna, I., C. G. M. Conijn, M. W. Sabelis and N. M. van Straalen (2000) Biological control of the bulb mite, *Rhizoglyphus robini*, by the predatory mite, *Hypoaspis aculeifer*, on lilies: Predator-prey dynamics in the soil, under greenhouse and field conditions. *Biocontrol Science and Technology* 10: 179-193.
- Lindquist, E. E. and G. O. Evans (1965) Taxonomic concepts in the Ascidae, with a modified setal nomenclature for the idiosoma of the Gamasina (Acarina: Mesostigmata). *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 47: 1-64.
- 増田俊雄 (2010a) ハウレンソウケナガコナダニの土壌から寄主植物への移動. 北日本病害虫研究会報 61: 186-188.
- 増田俊雄 (2010b) 動物質肥料を餌としたときのハウレンソウケナガコナダニの増殖. 北日本病害虫研究会報 61: 189-191.
- 増井伸一・芳賀 一・万年潤哉 (2009) シロネギに発生するネギアザミウマに対する散布剤の効果. ネギ属作物におけるアイリスイエロースポットウイルス等病害の発生生態解明と生物多様性保全によるネギアザミウマの総合防除技術の開発. 静岡県農林技術研究所試験研究成果の概要集, 農業一般編 2009: 383-384.
- 松村美小夜・中野智彦・安堂和夫 (2004) 腐熟稲ワラにおけるコナダニ類の発生とハウレンソウケナガコナダニの増殖. 関西病害虫研究会報 46: 67-69.
- 松村美小夜・中野智彦・小野大吾・福井俊男 (2005) 数種土壌消毒法によるハウレンソウケナガコナダニの防除. 関西病害虫研究会報 47: 1-8.
- 松村美小夜・安川人央・福井俊男 (2009) 奈良県内のハウレンソウ栽培施設土壌におけるハウレンソウケナガコナダニの春季の発生消長と栽培管理の影響. 奈良県農業総合センター研究報告 40: 1-7.
- 松村美小夜・神川 諭・安川人央 (2009) 奈良県におけるハウレンソウケナガコナダニ防除の取り組みと複数

- 個体群における各種薬剤の殺ダニ活性. 植物防疫 63: 678-682.
- 宮下 直 (2009) 生食連鎖と腐食連鎖の結合した食物網と害虫管理. 生物間相互作用と害虫管理 (安田弘法・城所 隆・田中幸一 編). 京都大学出版会, 京都, pp.115-134.
- 水久保隆之・本田要八郎・竹原利明・河合 章・矢野栄二・片瀬雅彦・崎山 一・杉山恵太郎・杉本 毅 (2005) 施設トマトの IPM マニュアル. IPM マニュアル: 総合的病害虫管理技術 (梅川 學・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 編). 養賢堂, 東京, pp.3-28.
- Moore, J. C., D. E. Walter and H. W. Hunt (1987) Arthropod regulation of micro- and mesobiota in below-ground detrital food webs. *Annual Review of Entomology* 33: 419-435.
- Moreno, C. R., S. A. Lewins and P. Barbosa (2010) Influence of relative abundance and taxonomic identity on the effectiveness of generalist predators as biological control agents. *Biological Control* 52: 96-103.
- 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). 日本植物防疫協会, 東京, 130pp.
- 永光輝義 (2007) 在来のマルハナバチに脅威: 外来種セイヨウオオマルハナバチの野生化. 森林総合研究所北海道支所年報 2006: 34-36.
- 長坂幸吉 (2005) バンカー法. IPM マニュアル: 総合的病害虫管理技術 (梅川 學・宮井俊一・矢野栄二・高橋賢司 編). 養賢堂, 東京, pp.196-202.
- 中原美理・角谷 拓・須田真一・鷲谷いづみ (2011) セイヨウ情勢. <http://www.seiyoubusters.com/>
- Nakahira, K., R. Kashitani, M. Tomoda, R. Kodama, K. Ito, S. Yamanaka, M. Momoshita and R. Arakawa (2010) Side effects of vegetable pesticides on a predatory mirid bug, *Pilophorus typicus* Distant (Heteroptera: Miridae). *Applied Entomology and Zoology* 45: 239-243.
- 中松正雄 (1958) 蠅蟻に関する研究. 衛生動物, 9: 90.
- 中尾弘志・黒佐和義 (1988) 日本初記録のコナダニ類 4 種, ならびにそれらによる農作物の被害について. 日本応用動物昆虫学会誌 32: 135-142.
- 中尾弘志 (1989) 野菜類を加害するコナダニ類に関する研究: I. ホウレンソウにおけるコナダニ類の加害実態. 北海道立農業試験場集報 59: 41-47.
- 中尾弘志 (2000) ホウレンソウケナガコナダニの薬剤防除. 北日本病害虫研究会報 51: 219-222.
- 中尾弘志・田神一美 (2009) コナダニ類. 原色植物ダニ検索図鑑 (江原昭三・後藤哲雄 編). 全国農村教育協会, 東京, pp.176-182.
- Neher, D. A. (1999) Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Systems* 45: 159-185.
- 日本植物防疫協会 (2006) 生物農薬+フェロモンガイドブック 2006. 日本植物防疫協会, 東京, 367pp.
- Nishikawa, H., T. Shimada, K. Nakahira and R. Arakawa (2010) Thermal effect on the development and reproduction of an indigenous mirid bug, *Pilophorus typicus* Distant (Heteroptera: Miridae), a potential biological control agent in Japan. *Applied Entomology and Zoology* 45: 313-318.
- 大井田 寛・上遠野富士夫 (2007) 広食性天敵オオメカメムシおよびヒメオオメカメムシによる施設イチゴのナミハダニ, 施設スイカのワタアブラムシに対する防除効果. 関東東山病害虫研究会報 54: 133-138.
- 大井田 寛・上遠野富士夫・後藤千枝・務川重之・小林伸三 (2007) 広食性天敵オオメカメムシによる施設ピーマンのヒラズハナアザミウマおよびミカンキイロアザミウマに対する防除効果. 関東東山病害虫研究会報 54: 139-142.
- 尾島一史・萩森 学 (2006) 露地栽培体系の実証と経営評価. 中山間水田における害虫総合防除等による高品位野菜生産システムの確立. 平成 13-17 年度地域先導技術総合研究研究成果報告書, pp.113-118.
- Oliver, J. H., Jr. and G. W. Krantz (1963) *Macrocheles rodriguezi*, a new species of mite from Kansas (Acarina: Macrochelidae) with notes on its life cycle and behavior. *Acarologia* 5: 519-525.
- 大島司郎 (1977) 室内塵性コナダニ類の分類. ダニ学の進歩: その医学・農学・獣医学・生物学にわたる展望 (佐々 学・青木淳一 編). 図鑑の北隆館, 東京, pp.525-568.
- 齊藤美樹 (2005) ハウス栽培キュウリのワタアブラムシに対するバンカープラント利用によるコレマンアブラバチの防除効果. 北日本病害虫研究会報 56: 137-140.
- 齊藤美樹 (2007) 生物農薬 (カブリダニ剤) を用いたハウス栽培きゅうりのハダニ類防除マニュアル. 北農 74: 259-264.
- 佐々 学 (1965) 形態と分類. ダニ類 (佐々 学 編). 東京大学出版会, 東京, pp.7-21.

- 佐々 学 (1970) 食品・薬品などの害虫としてのダニ類。ダニ類:その分類・生態・防除 (佐々 学 編, 第2版)。東大出版会, 東京, pp.368-382.
- 佐藤 衛・堀内誠三・山内智史 (2002) ホウレンソウベと病菌の新レースに抵抗性を持つ品種の探索。北日本病虫害研究会報, 53: 46-48.
- Scopoli, G. A. (1772) *Annus V. Historico Naturalis. Christian Gottlob Hilscher, Lipsiae* 5: 1-128.
- Shiraishi, H., Y. Enami and S. Okano (2003) *Folsomia hidakana* (Collembola) prevents damping-off disease in cabbage and Chinese cabbage by *Rhizoctonia solani*. *Pedobiologia* 47: 33-38.
- Takaku, G., H. Katakura and N. Yoshida (1994) Mesostigmatic mites (Acari) associated with ground, burying, roving carrion and dung beetles (Coleoptera) in Sapporo and Tomakomai, Hokkaido, Northern Japan. *Zoological Science* 11: 305-311.
- Takaku, G. and T. Sasaki (2007) Arboreal and forest floor mites (Acari: Gamasida, Oribatida) found in the Tomakomai Experimental Forest of Hokkaido University, Hokkaido, Northern Japan. *Journal of the Hokkaido University of Education. Natural Sciences* 58(1): 23-36.
- 高岡誠一 (2010) ホウレンソウケナガコナダニの総合的防除の指標。北陸病虫害研究会報 59: 22.
- Willmann, C. (1949) Beiträge zur Kenntnis des Salzgebietes von Ciechocinek. 1. Milben aus den Salzwiesen und Salzmooren von Ciechocinek an der Weichsel. *Veröffentlichungen aus dem Museum für Natur-, Völker- und Handelskunde in Bremen, Reihe A* 1: 106-142.
- Wright, E. M. and R. J. Chambers (1994) The biology of the predatory mite *Hypoaspis miles* (Acari: Laelapidae), a potential biological control agent of *Bradysia paupera* (Dipt.: Sciaridae). *Entomophaga* 39: 225-235.
- Xu, X. and L. Liang (1996) Four new species of the Hypoaspidae (Acari: Laelapidae) from moss in China. *Systematic and Applied Acarology* 1: 189-197.
- Yamauchi, N., T. Shirakawa, H. Horinouchi, K. Sakai, K. Yonemoto and M. Satou (2011) First report of spinach downy mildew caused by race Pfs: 8 of *Peronospora farinosa* f. sp. *spinaciae* in Japan. *Journal of General Plant Pathology* 77: 260-262.
- 矢野栄二 (2003) 天敵：生態と利用技術。養賢堂, 東京, 269pp.
- 安田弘法 (2011) 持続的社會へ向けた生態系の保全・管理への道筋：生物間相互作用を利用した資源低投入型の害虫管理。生物の科学, 遺伝 65(5): 39-46.
- 安井行雄 (2001) 精子競争。ダニの生物学 (青木淳一編)。東京大学出版会, 東京, pp.22-32.
- 安川人央・松村美小夜・中野智彦 (2010) 春期クロルピクリン剤処理によるホウレンソウケナガコナダニおよび萎凋病の防除効果。関西病虫害研究会報 52: 171.
- 安川人央・松村美小夜 (2011) ホウレンソウケナガコナダニ被害におけるホウレンソウの品種間差異。関西病虫害研究会報 53: 153.
- 横山 潤・糠塚ゆりか (2007) 北海道におけるセイヨウオオマルハナバチの野生化範囲の拡大とその要因。日本生態学会大会講演要旨集 54: 366.
- 吉岡哲也・武田光能 (2006) クワシロカイガラムシの天敵寄生蜂ナナセツトビコバチとチビトビコバチに対する農薬の影響。福岡県農業総合試験場研究報告 25: 145-149.

謝 辞

本研究の取りまとめおよび審査にあたり、終始懇切なる御指導、御鞭撻を賜りました北海道大学大学院農学研究院特任教授齋藤 裕博士に深く感謝いたします。

そして、本論文の審査にあたり、御多忙にもかかわらず、有意義な御指摘、御助言を賜りました北海道大学大学院農学研究院教授秋元信一博士、同伴戸久徳博士に深く感謝いたします。また、本論文の審査を賜り、貴重な御教示や資料等の提供を頂きました北海道教育大学教育学部教授高久 元博士に厚くお礼を申し上げます。

また、試験方法等について御助言を賜りました京都大学農学研究科教授天野 洋博士、同博士研究員川島充博博士（現ダウ・ケミカル日本株式会社ダウ・アグロサイエンス事業部門）、実験材料を恵与頂きました奈良県農業総合センター主任研究員松村美小夜氏（現奈良県中部農林振興事務所）に心から感謝申し上げます。

北海道立総合研究機構道南農業試験場場長中尾弘志博士（現社団法人北海道植物防疫協会）には、本研究開始の端緒を与えて頂き、また、種々の御助言並びに御配慮を頂きました。本研究の遂行およびデータ解析にあたっては、同中央農業試験場病虫部長田中文夫博士、同クリーン病害虫 G 主幹橋本庸三博士、同主査岩崎暁生氏（現同十勝農業試験場地域技術 G）、同上川農業試験場栽培環境 G 主幹柳原哲司博士（現同中央農業試験場農産品質 G）、同主幹中本 洋氏、同主査五十嵐俊成博士、同主査長浜 恵氏、同地域技術 G 主査小松 勉氏（現同中央農業試験場予察診断 G）、ならびに職員の皆様に数多くの御協力を頂きました。また、各種の実験および調査にあたっては、同契約職員藤原香氏に御協力を頂きました。ここに厚くお礼を申し上げます。

現地調査の実施にあたっては、北海道上川農業改良普及センター本所専門普及指導員若宮貞人氏、同大雪支所専門普及指導員風間基充氏にご協力を頂き、また、東神楽町生産者山崎達男氏、同井澤春雄氏、旭川市生産者森本 勇氏をはじめとするハウレンソウ生産者の皆様には、試験圃場の提供を頂くとともに農業現場で多くの意見交換をさせて頂きました。ここに厚くお礼を申し上げます。

なお、本研究の大部分は農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「環境保全型農業と両立する生物的相互関係を活用した難防除コナダニ類新管理体系の確立」および平成 21 年度園芸振興松島財団研究助成によって行われました。ここに深く感謝いたします。

図版説明

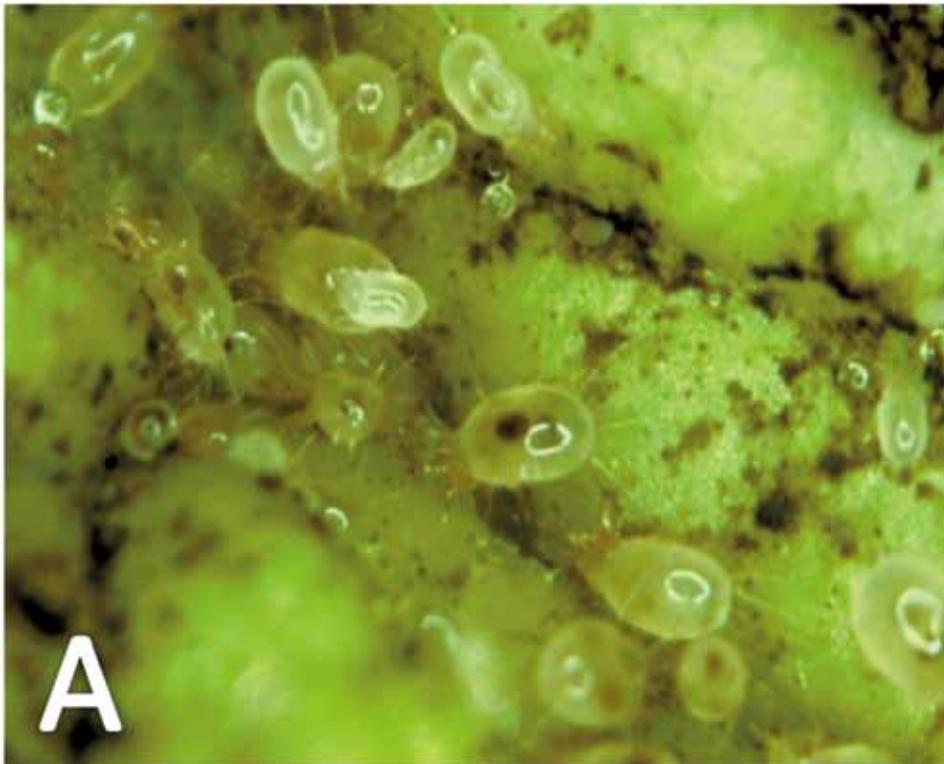
図版 1

- A. ホウレンソウケナガコナダニ *Tyrophagus similis* Volgin (コナダニ科) によるホウレンソウ *Spinacia oleracea*
L. 被害株
- B. 新芽に寄生するホウレンソウケナガコナダニ

図版 2

- A. *Ascidae* sp.1 (マヨイダニ科)
バーの長さ：100 μ m.
- B. クビレマヨイダニ *Protogamasellus mica* (Athias) (マヨイダニ科)
第 2 章では *Ascidae* sp.2 と記述. バーの長さ：50 μ m.
- C. タンカンホソトゲダニ *Hypoaspis (Gaeolaelaps) praesternalis* Willmann (トゲダニ科)
第 2 章では *Hypoaspis* sp. と記述. バーの長さ：100 μ m.
- D. トゲダニモドキ *Hypoaspis (Gaeolaelaps) queenslandicus* (Womersley) (トゲダニ科)
バーの長さ：100 μ m.
- E. ニセハエダニ *Macrocheles similis* Krantz & Filipponi (ハエダニ科)
第 2 章では *Macrocheles* sp. と記述. バーの長さ：200 μ m.
- F. *Cycetogamasus diviortus* (Athias-Henriot) (ヤドリダニ科)
バーの長さ：200 μ m.
- G. アルストンホコダニ *Parholaspulus alstoni* Evans (ホコダニ科)
バーの長さ：100 μ m.
- H. ヤマウチアシボトゲダニ *Hypoaspis (Euandrolaelaps) yamauchii* Ishikawa (トゲダニ科)
バーの長さ：200 μ m.

図版 1



図版 2

