

育苗箱へのトビムシ導入によるアブラナ科野菜の 苗立枯れ症抑制

白石 啓義^{*1)}・岡野 正豪^{*2)}・江波 義成^{*3)}

抄 録： 育苗箱に食菌性トビムシを導入し、*Rhizoctonia solani*に起因するアブラナ科野菜の苗立枯れ症を抑制することを試みた。福島県下で採集されたトビムシ種の内、*Folsomia hidakana* (ヒダカフォルソムトビムシ) が最も苗立枯れ症を抑制した。このトビムシは他のトビムシよりも速く増殖し、室内での大量飼育が容易であった。アブラナ科野菜を育苗箱で育苗した場合、苗立枯れ症の抑制効果を確保するには1箱当たり約7,500匹以上の*F. hidakana*を導入する必要があった。育苗条件としては、トビムシを導入する播種前2週間と播種後2週間の計4週間は地温を28℃以下とし、粒状の園芸培土を用いた場合には土壤水分を乾土当たり30～70%に保つ必要があった。なお、水分補給の際にはトビムシの表面流去を防止するため、育苗箱から水が溢れ出ないように灌水した。白河市のブロッコリー生産農家のハウス内における早春の育苗では、*F. hidakana*の導入により苗立枯れ症が抑制された。しかし、初夏の育苗では育苗箱内の地温が30℃を越えたこともあり、*F. hidakana*の導入効果はなかった。

キーワード：アブラナ科野菜、トビムシ、ヒダカフォルソムトビムシ、苗立枯れ症、リゾクトニア、育苗箱

Effects of *Folsomia hidakana* (Collembola) released in a seedling box on decreasing damping-off of Brassicaceous vegetables caused by *Rhizoctonia solani* :

Hiroyoshi SHIRAIISHI^{*1)}, Seigo OKANO^{*2)} and Yoshinari ENAMI^{*3)}

Abstract : Collembola collected in Fukushima prefecture were tested in pots whether they decreased damping-off of Brassicaceous vegetables caused by *Rhizoctonia solani*. *Folsomia hidakana* Uhida et Tamura was superior to others in abilities to propagate in a room and to decrease the damping-off. To decrease the damping-off, more than 7,500 individuals of *F. hidakana* were needed to be transferred to a seedling box (28 x 58 x 3 cm in depth). The seedling box must be maintained below 28℃. When the granulated commercial soil (Kureha Inc.) was used to rear seedlings, changes in soil water content from 30 to 70% on dry basis had no effect on the ability of *F. hidakana* to depress the disease. Water must be carefully supplied to avoid overflow resulting in loss of *F. hidakana* from soil surface. This system was applied by a farmer in Shirakawa city, Fukushima, to rear seedlings of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) in a plastic house. *F. hidakana* depressed the damping-off in February - May. However, *F. hidakana* had no effect on the disease in June - July, as the soil temperature of seedling box reached above 30℃.

Key Words : Brassicaceous vegetables, Collembola, *Folsomia hidakana*, damping-off disease, *Rhizoctonia solani*, seedling box

* 1) 故人 (the deceased)

* 2) Correspond Author, 現・東北農業研究センター水田利用部 (Present address: Department of Paddy Farming, National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Omagari, Akita 014-0102, Japan)

* 3) 現・滋賀県農業研究センター

(Present address: Shiga Prefecture Agricultural Research Center, Shiga 521-1301, Japan)

2004年3月24日受付, 2004年9月16日受理

はじめに

食料の安全性に対する関心の高まりや付加価値の高い作物生産のため、化学薬剤を削減しうる栽培技術が要請されており、生物機能の活用が注目されている。このうち、土壤動物のトビムシについては比較的近年になって研究が始まった。トビムシは世界中の土壤中で生息している体長数ミリ前後の昆虫で³⁾、中型土壤動物としてはダニ類に次いで多く、他の捕食性土壤動物の餌となりやすいことから「土の中のプランクトン」などと称される¹⁾。餌は主として植物遺体、花粉、糸状菌の菌糸と孢子、細菌などであり、土壤中で生息している種は主に「分解者」の役割を果たしていると考えられている³⁾が、多くの種の生態は解明されていない。このため、一部の種が作物を食害することから害虫として扱われていた^{13, 14, 25)}。

しかし、1979年にアメリカでワタ苗立枯病を抑制するトビムシが確認²⁾されて以降、トビムシは病害糸状菌を摂食することにより作物の病害を抑制する機能を有することが数例報告されている^{5, 6, 7)}。当畑地利用部においても畑作物の病害を引き起こす種々の糸状菌を各種食菌性トビムシが摂食し^{8, 9, 15)}、発病を抑制することを確認している^{11, 12, 16, 17, 19, 20)}。中でも *Folsomia hidakana* (ヒダカフォルソムトビムシ) は *Rhizoctonia solani* による苗立枯れ症を顕著に抑制することを確認した^{11, 12)}。こうした一連の研究成果は松崎・板倉¹⁰⁾及び中村¹⁸⁾の総説にまとめられている。

しかし、これらの研究はいずれも実験室内の小規模な系での検証にとどまり、農業現場で活用する試みには至らなかった。その主な理由はトビムシの大量飼育法が確立されていなかったためであるが、その後 *F. hidakana* の大量飼育手法が開発され^{23, 24)}、実用化に向けた研究が可能になった。ただし、トビムシの活用には、土壤に導入されたトビムシが長期間に亘って高密度で活動することが困難であることを考慮する必要がある。このため、土壤中でのトビムシの活動が短期間であってもその効果を期待できる場面として、育苗時における野菜の苗立枯れ症の軽減化に目標を定めた。そして、圃場を模したガラス温室内のライシメーターで試験を行ったところ、*F. hidakana* が *R. solani* に起因するアブラナ科野菜の苗立枯れ症を抑制することを認めた^{21, 24)}。

これらを踏まえ、今日一般的となっているセルトレイや育苗箱を用いたアブラナ科野菜の育苗時にトビムシを活用することを試みた。

本論文は、運営費交付金プロジェクト「生物等利用による寒冷地環境保全型アブラナ科野菜栽培技術の確立」(1998～2002年度)におけるトビムシ研究のデータを取りまとめたものである。白河市での現地試験で御配慮と御厚情を頂いた篠宮勝美氏に謹んで感謝申し上げます。また、研究に御助力頂いた非常勤職員の高橋寛子氏と齋藤みき子氏にお礼申し上げます。

材料と方法

1. トビムシの採集と選択

R. solani (AG-4) を培養した麦粒を荒布で挟んだもの及び PDA (ポテト-デキストロース寒天) 培地で *R. solani* を培養した試薬瓶をトビムシを捕捉するトラップとした。これらを福島県福島市の畑圃場等の土壤表層に埋め、*R. solani* を好む可能性のあるトビムシを採集した。また、福島県内及び石垣島等の先島諸島において森林腐植と表層土壌を採取し、ツルグレン装置を使ってトビムシを採集した。続いて、実体顕微鏡下でトビムシを種類毎に分け、300 ml 容の植物培養用プラスチック容器 (IWAKI) に石膏と活性炭の混合物を入れて固めたものに導入した。餌として麦粒やオートミール、麩、*Cladosporium* 菌体、*Fusarium* 菌体を配置し、24 時間の暗所条件下で飼育し、トビムシ種の餌に対する嗜好性をほぼ1週間に亘って調べた。増殖が認められたトビムシ種については更に PDA 培地で増殖させた *R. solani* を餌とした時の摂食行動を調べた。

一方、これまでに採集して飼育中のトビムシ¹⁵⁾ の内の3種、*F. hidakana* 及び *Sinella curviseta*、*Lepidocyrtus cyaneus* について *F. hidakana* 用に開発した大量飼育法^{23, 24)}での増殖能を再評価した。また、苗立枯れ症抑制効果を調べるため、前述の300 ml 容の容器に100 g の園芸培土 (クレハ) と水 45 ml を加えて滅菌した。これを対照区とし、後述する病原菌接種源 5 g を混合したものを汚染区、汚染区に300個体のトビムシを導入したものをトビムシ区とした。トビムシを導入して2週間後に1容器当たり7粒のキャベツ (品種、「グリーンボール」) を播種し、更に2週間後に各区において病兆の認められない健全発芽数を調査した。病原菌と

しては系統の異なる3種類の *R. solani* (Ssa-1, MAFF305238, AG-4) を供し、1処理について5つの容器を用いた。

なお、室内での育苗試験は全てグロースキャビネット (TABAI, TGE-2H-2) 内で行い、明期13時間は約16 klxで25℃、暗期11時間は20℃、湿度70～75%とした。

2. *Folsomia hidakana* の飼育法の改良

植物培養用プラスチック容器に粒状の園芸培土100gと水40mlを入れ、麩を餌として *F. hidakana* を24℃で飼育すると、500個体が6週間で約10,000個体に増殖する^{23, 24)}。この時の園芸培土の水分量を乾土当たり20, 30, 40, 50, 60, 70%とし、1容器当たり300個体の *F. hidakana* を入れて24℃で6週間飼育し、土壌水分量がトビムシの増殖に及ぼす影響を調べた。また、この飼育法の軽量化を図るため園芸培土やパーミキュライト、もみがらくん炭を単独または体積比1:1で混合したものを調製し、500個体の *F. hidakana* を入れて6週間後の個体数を調べた。

3. 育苗箱へ導入した *F. hidakana* がアブラナ科野菜の苗立枯れ症を抑制する効果の確認

1) 育苗条件

試験には98穴セルトレイを切断し、4×7の28穴にしたものを用いた。育苗土は園芸培土と淡色黒ボク土を体積比1:1で混合して2mmのふるいを通したものをを用いた。この淡色黒ボク土は福島市土湯温泉町天沼の下層から採取されたもので、1983年の試験圃場造成に用いられたものの一部を風乾保存していたものである。

病原菌接種源としては、淡色黒ボク土: PD(ポテト-デキストロース)液体培地: オオムギ粉末 = 90:35:10(重量比)の混合物で *R. solani* 菌株 (AG-4) を1カ月間培養したものをを用いた。汚染区および汚染+トビムシ区には菌接種源を育苗培土の5%(重量比)量を加えて混和した。汚染+トビムシ区には更に1穴当たり75個体の *F. hidakana* を土壌表面に導入した。トビムシを導入して2週間後にキャベツ(品種、「無双」)とハクサイ(品種、「金系201号」)を1穴当たり2粒播種し、育苗温度と土壌含水量が異なる場合の *F. hidakana* の苗立枯れ症発症抑制効果の違いを播種して2週間後に調べた。全体の傾向を明らかにする目的で1連ながら、温度は16, 20, 24, 28, 32℃、土壌含水量は乾土当たり

20, 30, 40, 50, 60%とそれぞれ5水準を設けた。

2) 導入トビムシの個体数

導入トビムシの数を1穴当たり0, 10, 30, 50, 75, 100の6水準とし、育苗条件の検討と同様の試験を行い、発病抑制効果及びトビムシの生存数、セル下方の穴からの流去数を調べた。ただし、明期13時間は約16 klxで25℃、暗期11時間は20℃、湿度は70～75%とした。

4. 白河市の農業現場でのブロッコリー育苗への応用

1) 早春(2月～3月)の現地試験

白河市の現地農家の慣行に従い、栃木県内から採取された赤土: ピートモス = 5:1(容積比)の混合物1Lに対して化成肥料(4-16-6)、過リン酸石灰、カキガラ石灰をそれぞれ5, 3, 3g加えて育苗土とした。*R. solani* 接種源は育苗土90gとPD液体培地35ml、オオムギ粉末10gの混合物で白河市の土壌から単離された *R. solani* を2週間培養したものをを用いた。2002年2月18日、1つの育苗箱(内寸28×58×3cm)の生土約5kgに対して1つの接種源を混和して汚染区とした。汚染+トビムシ区では更に約10,000個体の *F. hidakana* を飼育用育苗土とともに土壌表面に散布した。なお、対照区では *R. solani* 接種源と同量の有機物、すなわちPD液体培地とオオムギ粉末をそのまま育苗土に添加し混和した。調製した育苗箱を現地農家のビニールハウス内の床に静置し、現地農家に適時の灌水を依頼した。2週間後にブロッコリーの2品種(「しげもり」, 「緑嶺」)を交互に6列ずつ播種した。1列の播種数は50粒とした。播種して2週間後にブロッコリーの発芽数及び苗立枯れ症の症状を有する発症個体数を調べた。なお、育苗試験は3連で行った。

2) 初夏(6月～7月)の現地試験

試験方法は春とほぼ同様であるが、トビムシ導入後2週間と播種後3日間は、地温上昇を防ぐため、育苗箱を反射シート(本州太陽シート, 王子製紙)で覆った。トビムシは2002年6月19日に導入した。シートで覆ったものとそうでない育苗土の地温を経時的に測定した。この試験では1列の播種数を20粒とし、対照区の育苗土にPD液体培地とオオムギ粉末を加えなかった。

なお、播種時及び発芽試験終了時に土壌を採取し、生存しているトビムシを計数した。また、汚染区の残土にブロッコリーの種子を再度播種し、種子に感

染する糸状菌の種類を調べた。

結果及び考察

1. トビムシの採集と選択

福島県内の畑圃場等に埋設したトラップからは4割程度の確率でトビムシが採集された。森林腐植及び表層土壌から採集されたものと合わせ、トビムシの分類⁴⁾に従って示した(表1)。トビムシは第1亜目 Arthropleona と第2亜目 Symphypleona に分けられる。この内、第1亜目 Arthropleona では、Poduromorpha のうち、Pseudachorutidae, Neanuridae, Hypogastruridae の種はほとんど飼育繁殖できなかったが、Onychiuridae の1種は飼育繁殖

の可能性が残されている。Entomobryomorpha では、Isotomidae に繁殖力の旺盛な種が認められた。他の科で飼育繁殖が認められたのは、Tomocerus, Lepidocyrtus, Sinella, Homidia などであった。一方、Symphypleona では Neelidae と Sminthuridae が採集された。しかし、Neelidae の種類は分離される個体数が少ないことや体が比較的大きいので土壌中を動きまわるのに適していないことから、土壌糸状菌を抑制するのに有効とは考えられず、人工繁殖もできなかった。Sminthuridae は麦粉に生える菌糸や麹を好んで食した。しかし、土壌表面を生息域にしているため、土壌病害の防除には適していないと判断された。

表1 福島県内で採集されたトビムシ

第1亜目 Arthropleona (フシトビムシ類)

- Poduromorpha (ミズトビムシ上科)
- × Hypogastruridae (ムラサキトビムシ科)
 - * *Hypogastrura communis*
 - × Pseudachorutidae (ヤマトビムシ科)
 - × Neanuridae (イボトビムシ科)
 - Onychiuridae (シロトビムシ科)
 - *Onychiurus* sp. 1
 - × *Onychiurus* sp. 2
 - × *Tullebergia* sp.

Entomobryomorpha (アヤトビムシ上科)

- Isotomidae (ツチトビムシ科)
- * *Folsomia fimetaria*
 - * *Folsomia hidakana*
 - *Folsomia* sp.
 - * *Proisotoma minuta*
- Entomobryidae (アヤトビムシ科)
- *Homidia* sp. 1
 - *Homidia* sp. 2
 - * *Lepidocyrtus cyaneus*
 - *Lepidocyrtus* sp.
 - * *Sinella curviseta*
 - * *Sinella dubiosa*
 - *Sinella* sp. 1
 - × *Sinella* sp. 2
- Tomoceridae (トゲトビムシ科)
- × sp. 1^{a)}
 - × sp. 2^{a)}
 - *Tomocerus* sp.
 - * *Tomocerus kinoshitai*

第2亜目 Symphypleona (マルトビムシ類)

- Neelidae (ミジントビムシ科)
- × *Megalothorax* sp. 1
- Sminthuridae (マルトビムシ科)
- *Sminthurus* sp.

採集されたトビムシ種を伊藤ら²⁾に従って並べた。

a) 属が不明なもの

* 1997年以前に畑地利用部畑土壌管理研究室で分離したもので飼育繁殖が可能であったもの

新たに分離したもので、飼育繁殖が可能なもの

× 分離されるが飼育困難なもの

このように、数種のトビムシは適度な湿度を維持すれば数日間飼育することができたが、多くは土壌表層に生息する種であり、飼育餌を摂食せずに数日から数週間死亡した。特に大型な種ほど飼育が困難であり、繁殖能は *F. hidakana* を大幅に下回り、病原菌抑制への利用は困難であった。また、石垣島等から高温に耐性をもつトビムシ採集をもくろんだが、福島県下で採集されたものと異なるものは分離されなかった。

すでにこれまで *Sinella curviseta*, *Lepidocyrtus cyaneus*, *Proisotoma minuta*, *Hypogastrura communis*, *Folsomia hidakana* の 5 種が福島県下の土壌から採集され、*Fusarium oxysporum* f. sp. *raphani* 等の病原性糸状菌を餌として継代飼育を行ってきた。この内 3 種のトビムシを用いてキャベツ、ハクサイに苗立枯れ症を引き起こす 3 系統の *R. solani* について栽培試験を行った結果、*F. hidakana* はいずれの菌に対しても 70 ~ 80% の発症抑制効果を示したが、残りの *S. curviseta* と *L. cyaneus* の抑制効果は 10 ~ 20% と低かった (図 1)。また、園芸培土と麹を用いる *F. hidakana* 用に開発した飼育法^{23, 24)} でこの 2 種を飼育した場合、6 週間で 2 ~ 3 倍の個体数にしか増加せず、ペトリ皿で平面的に飼育した場合との違いは小さかった。両種の繁殖速度がもともと遅い可能性がある。また、壁面に沿って集合する習性があるので、園芸培土を用いても実質上の飼育密度が下がらなかったとも推定される。

これらの種に比べ、*F. hidakana* は人工増殖が容易であり、活発に活動して糸状菌を摂食することが

ら、*F. hidakana* に絞ってセルトレイ及び育苗箱へ導入することとした。なお、供試した *F. hidakana* は 1990 年に採集され、田中真吾⁴⁾ によって同定された種である。この種の卵は 14 日前後で孵化し、孵化後 20 日前後で雌個体は性成熟し産卵を開始した。雌は長いもので半年以上生き、死亡するまで 1 日当たり平均 2.3 個産卵する²²⁾。*R. solani* を餌に継代飼育を繰り返してきたが、麹を使った大量飼育に切り替えて 6 ~ 7 年が経過した時点では *Folsomia candida* と同定されたトビムシ (私信、一澤 圭) との形態的な違いが判然としなかった。今後、両種の間関係を再検討するなかで供試したトビムシの分類上の帰属を決定する必要がある。

2. *F. hidakana* の飼育法の改良

F. hidakana の大量増殖にとっての適温は 24 であり^{23, 24)}、適切な土壌水分量の範囲は園芸培土では乾土当たり 30 ~ 70% と広いことが判明した (図 2)。この範囲内では増殖速度に大きな差は認められなかったが、値としては 30% でやや低くなっているのがここが下限と考えられる。なお、土壌水分 20% では増殖せずに 4 週間以内に全て死滅した。

F. hidakana の飼育のための保水体として、全量をもみがらくん炭またはパーミキュライトとした場合には、園芸培土のみの場合と比べて大幅に増殖が抑えられた (図 3)。しかし、園芸培土とくん炭または園芸培土とパーミキュライトを体積で 1:1 とすると *F. hidakana* の増殖が早まった。その原因は不明であるが、大量増殖の時間短縮のみならず作業の軽量化が可能となった。

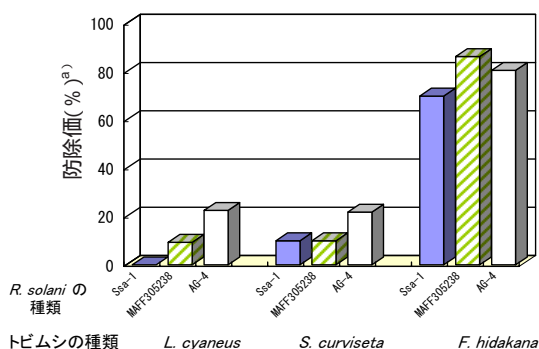


図 1 3 種類のトビムシが 3 種類の *R. solani* に起因するキャベツ苗立枯れ症を抑制する効果

a) 防除価: (対照区の健全株数 - トビムシ区の健全株数) / (対照区の健全株数 - 汚染区の健全株数) × 100

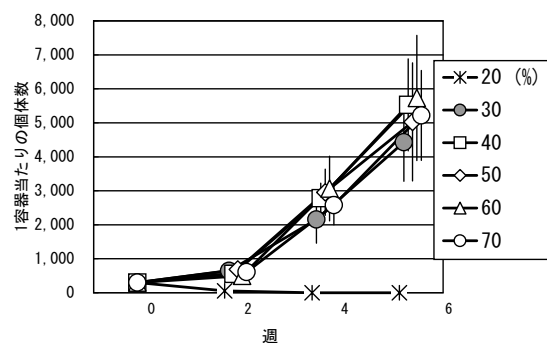


図 2 園芸培土の水分量が *F. hidakana* の増殖に及ぼす影響

(水分は乾土当たり, 値は平均 ± 標準偏差で表示)

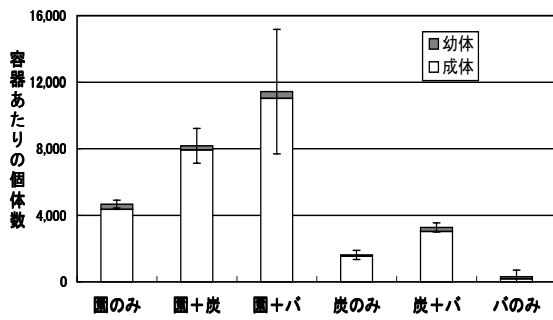


図3 培養容器内の保水体の種類が *F. hidakana* の増殖に及ぼす影響

(園, 園芸培土: 炭, もみがらくん炭: バ, パーミキュライト)

棒は2連での全個体数の平均 ± 標準偏差で表示

3. 育苗箱へ導入した *F. hidakana* がアブラナ科野菜の苗立枯れ症を抑制する効果

1) 育苗条件

育苗条件としては土壌含水量が 30 % 以上であれば, 16 ~ 28 の温度条件で *F. hidakana* の苗立枯れ症抑制効果は安定していた (図 4)。土壌含水量 20% では水が少ないことが原因となって発芽が不良であった。32 では *F. hidakana* の発症抑制効果が大きく低下した。これは, アブラナ科野菜の生育適温よりも高いために苗立枯れ症が発症しやすいことに加え, *F. hidakana* の生育適温^{23, 24)} を超えていたためにセル内生存個体数が大きく減少したためと考えられた。

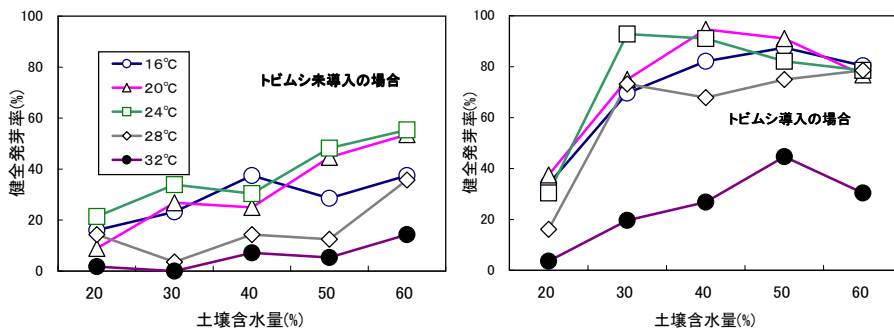


図4 セル育苗時の育苗温度と土壌水分量がハクサイ「無双」の健全発芽率^{a)}に及ぼす影響
 左, トビムシを導入しない場合: 右, *F. hidakana* を1穴あたり75個体導入した場合
 a) 発芽してかつ病兆の認められないもの

2) 導入トビムシの個体数

灌水などによってセルトレイ下方に流出する *F. hidakana* の個体数は導入数に比例せず, 多くても 10 ~ 13 匹であった (表 2)。キャベツとハクサイのどちらにおいても 1 穴あたり 50 個体以上の *F. hidakana* を導入すると, 4 週間後の生存数は導入数の約半分であった (表 2)。*F. hidakana* は好適な条件だと 8.3 日で個体数が 2 倍になり²⁴⁾, セル内で増殖しているものの全体としては次第に減少すると推察される。ハクサイとキャベツの苗立枯れ症は 1 穴あたり 75 個体以上の *F. hidakana* を導入すると顕著に抑制されたことから (表 2), この個体密度以上の *F. hidakana* を導入することが必要と判断された。

4. 白河市でのブロッコリー育苗への応用

1) 早春 (2月 ~ 3月) の現地試験

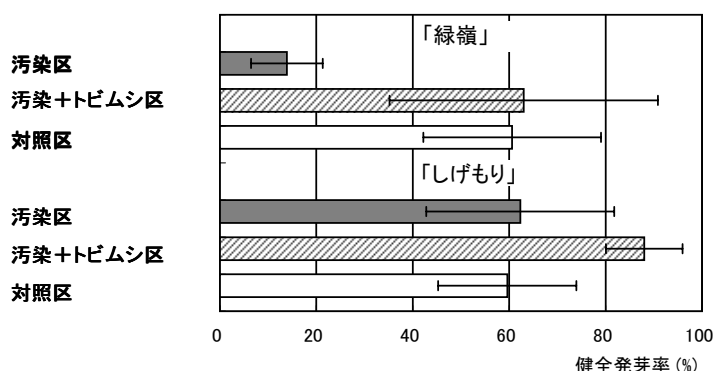
トビムシによる苗立枯れ抑制効果が確認された (図 5)。品種「しげもり」は耐病性品種であるため, 汚染区でも 60 % の健全発芽率 (発芽しかつ苗立枯れ症の病兆が認められないもの) であったが, 汚染 + トビムシ区での健全発芽率は約 90 % であり, 対照区の健全発芽率を上回った。品種「緑嶺」は苗立枯れ症に弱く, 汚染区での健全発芽率は 20 % を下回った。しかし, 汚染 + トビムシ区の健全発芽率は約 60 % となり, 対照区に匹敵した。

表2 導入した *F. hidakana* のセルトレイからの流去数と4週間後の生存数，及びハクサイとキャベツの健全株率

トビムシ導入数 ^{a)}	流去数 ^{a)}	生存数 ^{a)}	ハクサイの健全株率 ^{b)} (%)
0	0	0	21.4
10	-5.4	2.8	57.1
30	-10.0	9.8	71.4
50	-14.3	24.6	92.9
75	-12.9	39.7	100.0
100	-11.4	49.1	100.0

トビムシ導入数 ^{a)}	流去数 ^{a)}	生存数 ^{a)}	キャベツの健全株率 ^{b)} (%)
0	0	0	28.6
10	-6.0	2.9	57.1
30	-12.5	10.7	85.8
50	-13.3	25.8	92.9
75	-11.0	40.2	100.0
100	-10.8	50.4	100.0

- a) セル1穴あたり：流去数はセルトレイ下方に流れ出た個体数でマイナス表示した。
生存数は導入して4週間後の個体数
- b) 発芽し，かつ病兆のないもの

図5 育苗箱への *F. hidakana* 導入の有無が春作用ブロッコリーの健全発芽率^{a)}に及ぼす影響(3連の平均±標準偏差で表示)

- a) 発芽し，かつ病兆が認められないもの
上段は品種「緑嶺」の場合，下段は品種「しげもり」の場合
汚染区と汚染+トビムシ区には *R. solani* を接種，汚染+トビムシ区にはさらに *F. hidakana* を導入した。

2) 初夏(6月~7月)の現地試験

トビムシを導入して2週間は反射シートをかぶせることにより地温を30以下に抑えることができた(図6)。2週間後の汚染区では土壌表面に糸状菌菌糸が観察された。一方，汚染+トビムシ区では土壌表面に糸状菌菌糸は観察されなかった。育苗箱当たりのトビムシの個体数は 3400 ± 2100 個体(平均±標準偏差)と導入個体数の約3分の1に減少していたものの，トビムシの活動の効果が認められた。しかし，播種して2週間後の対照区での発芽率は「緑嶺」で90%，「しげもり」86%であったが，汚

染区と汚染+トビムシ区での発芽はどちらも皆無であった。このようにトビムシ導入の効果が認められなかったのは地温上昇(図6)が原因と推定される。播種して数日後に反射シートの覆いを取ったために生じた高温条件により，生育適温が24である *F. hidakana*²⁴⁾の活動は急速に低下したものと推察された。一方，汚染区の土壌を回収して再度ブロッコリーを播種したところ，いずれも腐敗し，全ての腐敗種子から *R. solani* が再分離された。このように，高温条件は供試した *R. solani* が生き延びて活動するのに有利に働いたと推測される。

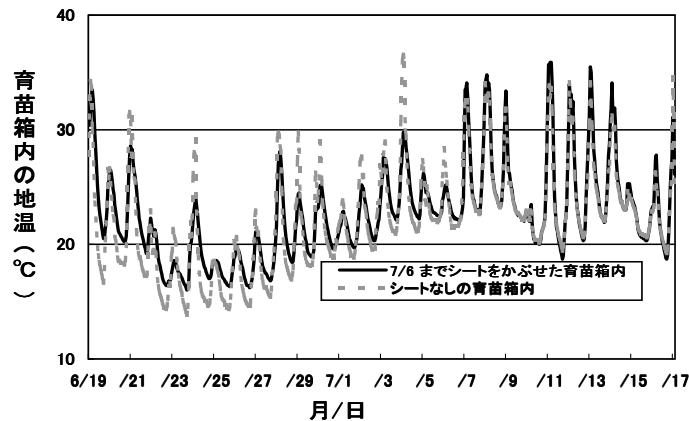


図6 秋作用のブロッコリー育苗時での地温の推移

6/19 病原菌接種及びトビムシ導入；7/3 播種；7/8 シート除去

現地の農家は春作では育苗箱で発芽させたものをポットに鉢上げしている。しかし、夏～秋作の育苗では春作と異なりポットに直接播種している。育苗箱を用いた場合には土壤の水分及び温度の調整が難しいためである。結論としては、こうした時期においては育苗箱にトビムシを導入する効果は期待できない。しかし、28℃以下の育苗環境が1か月保証されれば *F.hidakana* を活用した苗立枯れ症の防除が可能と判断された。

引用文献

- 1) 青木淳一．1973. 土壤動物学．北隆館．p.245-254．
- 2) Curl, E. A. 1979. Effects of mycophagous collembola on *Rhizoctonia solani* and cottonseedling diseases. In: Shippers, B., Grams, W. (eds) Soil-borne plant pathogens. Academic Press, London. p.253-269．
- 3) Hopkin, S. P. 1997. Biology of the springtails (Insecta: Collembola), New York, Oxford University Press. p.1-7, p.113-132．
- 4) 伊藤良作, 須磨靖彦, 田中真吾．1999. 昆虫綱トビムシ目, 日本産土壤動物 - 分類のための図解検索, 東海大学出版会. p724-787.
- 5) Lartey, R. T.; Curl, E. A.; Peterson, C. M. 1994. Interactions of mycophagous Collembola and biological control fungi in the suppression of *Rhizoctonia solani*. Soil Biol. Biochem. 26 : 81-88．
- 6) Lootsma, M.; Scholte, K. 1997. Effect of the springtail *Folsomia fimetaria* and the nematode *Aphelenchus avenae* on *Rhizoctonia solani* stem infection of potato at temperatures of 10 and 15℃. Plant Pathology 46 : 203-208．
- 7) Lootsma, M.; Scholte, K. 1997. Effect of soil moisture content on the suppression of *Rhizoctonia* stem canker on potato by the nematode *Aphelenchus avenae* and the springtail *Folsomia fimetaria*. Plant Pathology 46 : 209-215．
- 8) 松崎 巖, 板倉寿三郎, 中村好男．1990. 土壤動物による作物病原系状菌の摂食 - 培地条件について. 東北農業研究 43 : 257-258．
- 9) 松崎 巖．1991. トビムシ類によるキュウリつる割病菌の摂食. 北日本病虫研報 42 : 61-63．
- 10) 松崎 巖, 板倉寿三郎．1991. 作物系状菌を食べる土壤動物. 農業技術 46 : 364-368．
- 11) 松崎 巖．1992. キャベツ苗立枯病抑制にかかわるトビムシの生育条件としての土壤硬度. 東北農業研究 45 : 295-296．
- 12) 松崎 巖, 板倉寿三郎．1992. 異なる床土へ移入したトビムシによる野菜の苗立枯れ発病抑制効果. 北日本病虫研報 43 : 133-134．
- 13) 松崎征美．1985. シロトビムシの一種(原色図鑑土壤害虫) 全国農村教育協会. p.14-17．
- 14) 村上正雄・野田政春．1985. ヤギシロトビムシ

- (原色図鑑土壤害虫). 全国農村教育協会. p.10-13 .
- 15) 中村好男, 板倉寿三郎, 松崎 巖. 1991. 福島県から採集された作物病原糸状菌を摂食する中型土壤動物. *Edaphologia* 45 : 49-54 .
- 16) 中村好男, 松崎 巖, 板倉寿三郎. 1991. トビムシによるダイコン, キュウリ, キャベツおよびゴボウの苗立枯病 *Rhizoctonia solani* Kühn の発病抑制効果. *Edaphologia* 47 : 41-45 .
- 17) Nakamura, Y., Matsuzaki, I., Itakura, J. 1992. Effect of grazing by *Sinella curviseta* (Collembola) on *Fusarium oxysporum* f.sp. *cucumerinum* causing cucumber disease. *Pedobiologia* 36 : 168-171 .
- 18) 中村好男. 1993. 土壤微生物にとって土壤動物とは - 耕地のトビムシ, ササラダニ, ヒメミミズ活用による生物防除を例に. *土と微生物* 42 : 43-59 .
- 19) 白石啓義, 中村好男, 板倉寿三郎, 松崎 巖. 1993. トビムシ移入によるアズキ幼苗の白紋羽病抑制効果. *東北農業研究* 46 : 139-140 .
- 20) 白石啓義, 中村好男. 1994. 乾性土壤動物による土壤病害抑制効果-トビムシ *Folsomia hidakana* と糸状菌由来の土壤病害. *東北農業研究* 47 : 171-172 .
- 21) 白石啓義, 江波義成, 岡野正豪. 2000. 枠試験での食菌性トビムシによるアブラナ科野菜の苗立枯れ症抑制効果. *東北農業研究成果情報* 14 : 205-206 .
- 22) Shiraishi, H. 2000. Springtails: Can fungivorous soil animals be used for agriculture ?. *Farming Japan* 34(5): 22-27 .
- 23) 白石啓義, 江波義成, 岡野正豪. 2002. 苗立枯れ症を抑制する菌食性トビムシの簡易大量飼育法. *東北農業研究成果情報* 16 : 271-272 .
- 24) Shiraishi, H.; Enami, Y.; Okano, S. 2003. *Folsomia hidakana* (Collembola) prevents damping-off in cabbage and Chinese cabbage by *Rhizoctonia solani* (AG-4) in a greenhouse. *Pedobiologia* 47 : 33-38 .
- 25) 吉井良三. 1980. トビムシ目 (農林害虫名鑑). 日本植物防疫協会. p.14 .