

令和 5 年 4 月 27 日現在

機関番号：82105

研究種目：基盤研究(C)（特設分野研究）

研究期間：2019～2021

課題番号：19KT0040

研究課題名（和文）害虫と作物の振動応答性を応用した害虫防除・作物栽培技術の開発

研究課題名（英文）Development of technologies for pest management and crop cultivation based on vibrational responses in pest insects and crops

研究代表者

高梨 琢磨（Takanashi, Takuma）

国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等

研究者番号：60399376

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：菌床シイタケの害虫において、特定周波数の振動によって行動制御が可能であることを示した。ヤガ類の幼虫と、ナガドキノコバエ類の幼虫及び成虫は、様々な振動に対して驚愕反応や不動化等の行動反応を示した。続いて、トマトの害虫であるコナジラミ類の成虫及び幼虫において、100Hzの振動を、施設栽培に設置した振動発生装置からトマト植物体に伝えることによって、密度抑制の防除効果を明らかにした。また、100Hzの振動はトマトの着果を促進し、果実の収量が増加したことから、振動は害虫防除だけでなく栽培技術としても有用であることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

農林生産現場では、これまで殺虫剤や植物成長調整剤等の農薬に大きく依存してきた。しかし害虫や作物の生理学的特性を活用する新たな技術によって、農薬の使用を抑えるだけでなく、生産性を向上することが可能となる。本課題において、農作物（シイタケとトマト）とその害虫（キノコバエ類、コナジラミ類等）に対する、振動に対する応答性とその効果が示す。これらの知見は、振動を用いた害虫防除及び栽培技術の開発につながる。

研究成果の概要（英文）：Vibrational technologies applied to crop protection and cultivation are presented. Because vibrations modify behaviors in insect pests of tomatoes and mushrooms, vibrations can be exploited for physical pest management. In addition, vibrations promote pollination in tomatoes. Indeed, we revealed that vibrations decreased infestation of whitefly pests and increased yields of tomatoes in greenhouses installed with vibration exciters.

研究分野：応用昆虫学

キーワード：振動 害虫 シイタケ トマト

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

作物の施設栽培において、栽培や害虫防除は課題となる。国内生産量トップの野菜であるトマトや、中山間地域の主要な特用林産物であるシイタケは、我が国の代表的な施設栽培作物と言える。トマトは、露地から環境制御がされている大型栽培施設(植物工場)で栽培され、特にトマトに致死的なトマト黄化葉巻病を媒介する害虫コナジラミ類の問題が避けて通れない。一方、シイタケでは、化学合成農薬が使用できない状況にあって、その子実体や菌糸を食害し、食品への異物混入として近年問題となっているナガマドキノコバエ等の害虫問題は大きい。上述のコナジラミ類をはじめ、ほとんどの昆虫が振動に感受性を持ち、振動によって様々な行動がひき起こされる。この生理的特性を利用して、人工的振動で昆虫の行動を阻害したり、忌避することで害虫防除が可能である。また、トマトは従来、振動を与えたり、昆虫がおしべを振動させることで受粉をおこすため、受粉用の振動装置もすでにある。一方、キノコにおいて、振動によって、子実体形成が促進されることは知られているものの、科学的な証明はなされていない。以上のように、振動は害虫や作物に生理的に作用するため、振動を用いた新たな害虫防除・栽培技術は、有望な農薬の代替技術のひとつとなる。

2. 研究の目的

農林生産現場では、これまで殺虫剤や植物成長調整剤等の農薬に大きく依存してきた。しかし害虫や作物の生理学的特性を活用する新たな技術によって、農薬の使用を抑えるだけでなく、生産性を向上することが可能となる。施設栽培における受粉には、ハチなどの昆虫を利用する方法や手作業による方法が用いられており、コスト面と作業量の面から農業従事者の負担となっている。そこで本課題では、農作物とその害虫を用いて、振動に対する応答性とその効果を示すことを目的とする。具体的には、下記2項目について明らかにする。

1) 振動によるシイタケの害虫の防除とシイタケの生育への効果

2) 振動によるトマトの害虫の防除とトマトの生育への効果

得られる成果は、振動を用いた害虫防除及び栽培技術の開発につながる。

3. 研究の方法

1) 振動によるシイタケの害虫の防除とシイタケの生育への効果

菌床シイタケの表面を食害するヤガ類の幼虫において、振動による驚愕反応(刺激直後に体の一部を動かす)や不動化(行動の停止)を観察した。市販の加振器に固定したガラスシャーレ上に幼虫を1頭ずつ置いて、各振動刺激あたり2回まで提示した。振動刺激は、持続時間1秒の振動刺激を、25-1000Hzの単一周波数ごとに、振幅(加速度)を 1m/s^2 または 10m/s^2 とした。

菌床シイタケの重要害虫であるナガマドキノコバエ類の成虫を用いて、行動実験を行った。加振器に固定したガラスシャーレ上に、プラスチック容器中の成虫を1頭ずつ置いて、各振動刺激あたり2回まで提示した。振動刺激は、25-1500Hzの単一周波数ごとに加速度を $0.3\text{m/s}^2 \sim 100\text{m/s}^2$ に変化させて、持続時間1秒の振動刺激を与えて、驚愕反応や飛翔を観察した。

ナガマドキノコバエ類の幼虫において、振動による驚愕反応や不動化を観察することで、行動制御効果の持続性(慣れ)を示した。加振器を用いて、各周波数の振動刺激、持続時間2秒、休止時間13秒(または28秒)を連続提示して、驚愕反応、フリーズ反応の有無を、菌床入りプラスチックカップ内に幼虫を1頭ずつ置いて観察した。そして、行動反応が持続する時間を計測した。

シイタケの菌糸の成長に対する振動の効果を検証した。媒地上にて菌糸が成長する過程で、一定周波数、一定加速度の振動を加振器から与えて、コロニーの面積を測定した。振動処理区と、振動を与えない対照区との面積の比較をおこなった。

2) 振動によるトマトの害虫の防除とトマトの生育への効果

トマト栽培施設(宮城県農業・園芸総合研究所内)におけるオンシツコナジラミに対する振動の効果を、振動発生装置の試作機を用いて、密度の推移より検証した。振動発生装置(東北特殊鋼株式会社製)から、害虫の行動制御に有効な100Hzの振動を、持続時間1秒、休止時間9秒として、連続6回、7~17時の日中、15分間隔で与えた。2つの栽培施設内において、加速度(振幅)の異なる振動処理4区(0.5m/s^2 , 1m/s^2 , 5m/s^2)、4反復にトマト6株を植えて、畝上に鉄パイプに振動発生装置を装着した。この鉄パイプから針金を用いてトマトを誘引し、植物体に振動を与えた。一方、振動発生装置のない無処理区では、畝上の鉄パイプにイボ竹を用いてトマトを誘引した。

実験室内においてトマトの花に、様々な周波数の振動を与えて、それらの振幅を計測する

ことで、花の共振周波数を推定した。続いて、病害虫を防除したトマト栽培施設において、振動の振幅(加速度)が果実の収量に及ぼす影響を調査した。一株ごとにプランター栽培で条件を整えたトマトを用いて、振動発生装置から100Hzの振動を、持続時間1秒、休止時間9秒として、連続6回、6~19時の日中、15分間隔で与えた。異なる加速度の振動処理2区(1m/s², 5m/s²)を各区8株、2反復設置し、畝上に鉄パイプに振動発生装置を装着した。この鉄パイプから金属製の誘引資材を用いてトマトを誘引し、植物体に振動を与えた。一方、無処理区の畝上に設置した鉄パイプから紐を用いて誘引した。

4. 研究成果

1) 振動によるシイタケの害虫の防除とシイタケの生育への効果

ヤガ類の幼虫において、行動を制御する振動の範囲を特定し、害虫防除のための振動パラメータ(周波数)を決定した。幼虫は、25-1000Hzの振動や気流の物理刺激に対して敏感に行動反応(フリーズ反応と驚愕反応)を示した。特に、100Hz-1000Hz(1-10m/s²)の振動に70%前後の行動反応が観察されたことから、これらの振動によって幼虫の制御が可能であることが示された。ムラサキアツバの幼虫において、フリーズ反応は100Hzと500Hzにて70%前後と高く、驚愕反応は25Hzと1000Hzにて高くなった。これらの振動によって幼虫の行動制御が可能であることが示された。

ナガマドキノコバエ類の成虫において、驚愕反応や飛翔を観察し、振動の作用を実験室内にて明らかにした。成虫は、25-1500Hzの振動に対して敏感に行動反応(驚愕反応、飛翔)を示した(図1)。特に、1000Hz(15.6m/s²)または100Hz以下の振動に対して、低い閾値の行動反応が観察されたことから、これらの振動によって成虫の行動制御が可能であることが示された。

ナガマドキノコバエ類の幼虫に対する振動の行動制御効果の持続性(慣れ)を、菌床上にて示した。各周波数の振動刺激、持続時間2秒、休止時間13秒(28秒)を連続提示したところ、驚愕反応、フリーズ反応が、平均で42-72分間持続することが示された。100Hzにおいて、最大150分でも反応が見られた、このことから、行動制御効果の持続性はあるが、慣れがおこることが明らかとなった。ヤガ類とナガマドキノコバエ類のシイタケ害虫において、振動は防除技術として有用となる可能性が示された。

シイタケの菌糸は、対照区との比較によって、特定の周波数によって成長が促進されることが示された。このことから、シイタケ栽培において、振動は害虫防除だけでなく栽培促進にも有用であることが示された。

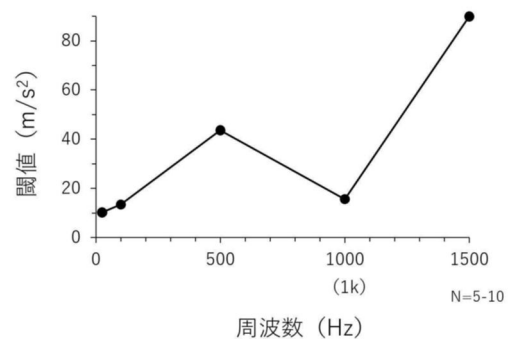


図2 ナガマドキノコバエ類の成虫の振動に対する反応閾値

2) 振動によるトマトの害虫の防除とトマトの生育への効果

成虫、幼虫ともに、全ての振動処理区において密度抑制効果がみられた。成虫の発生は、2世代からなる二山形となった。幼虫では、振動処理区において密度が最大50%以下となった。加速度の数値と密度は、負の相関を示す傾向にあった。トマト栽培施設内に設置した鉄パイプから針金を介して、周波数100Hz、加速度0.5~5m/s²の振動を植物体に与えることで、オンシツコナジラミ成虫及び幼虫の密度を抑制できることが示された。

実験室内においてトマトの花を加振したところ、5Hz及び30~55Hzにおいて振幅が大きくなったため、これらの周波数がトマトの花の共振周波数であると考えられた。また、栽培施設において、振動処理によるトマト果実重の増加がみられた。各加速度における増加は、1m/s²区では無処理区と比較して10%、5m/s²区では30%であった。トマト栽培施設内に設置した鉄パイプからの誘引資材を介して、周波数100Hzの振動を植物体に加えることによって、トマト果実の収量を増加させることが示された。

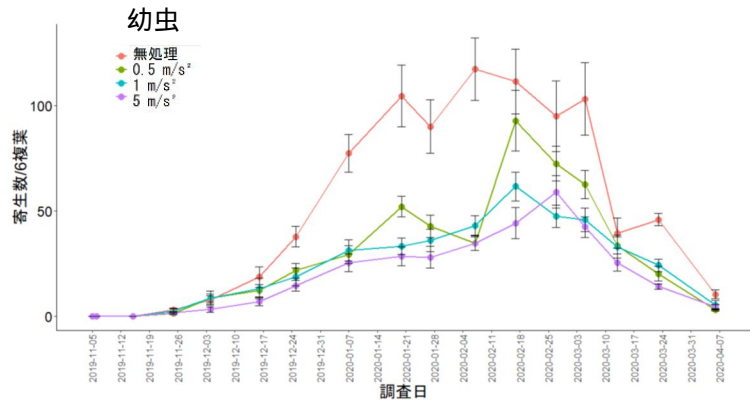
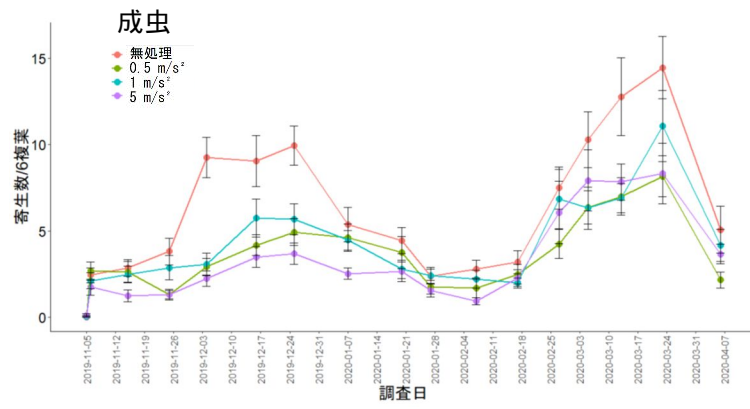


図2 振動処理(100Hz、複数の加速度)によるコナジラミ類の成虫及び幼虫の密度推移

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 高梨琢磨、向井裕美、平栗健史	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 振動による昆虫の行動制御に基づく害虫防除技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 印刷中
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高梨琢磨、関根崇行、大江高穂、小池卓二	4. 巻 59
2. 論文標題 振動を利用した害虫防除技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 技術と普及	6. 最初と最後の頁 26-27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高梨琢磨、関根崇行	4. 巻 5
2. 論文標題 害虫防除と受粉促進のダブル効果！トマトの新たな振動技術	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 農耕と園芸	6. 最初と最後の頁 9-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 柳澤隆平、高梨琢磨、諏訪竜一、立田晴記	4. 巻 63
2. 論文標題 振動を活用した害虫防除	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 計測と制御	6. 最初と最後の頁 31-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yanagisawa, R., Suwa, R., Takanashi, T., Tatsuta, H.	4. 巻 56
2. 論文標題 Substrate-borne vibrations reduced the density of tobacco whitefly <i>Bemisia tabaci</i> (Hemiptera: Aleyrodidae) infestations on tomato, <i>Solanum lycopersicum</i> : an experimental assessment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 157-63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13355-020-00711-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mukai Hiromi, Skals Niels, Takanashi Takuma	4. 巻 64
2. 論文標題 Electrophysiological Analysis of Neural Responses to Substrate Vibration in the Brown-Winged Green Bug, <i>Plautia stali</i> (Hemiptera: Pentatomidae)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1303/jjaez.2020.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件(うち招待講演 4件/うち国際学会 3件)

1. 発表者名 高梨琢磨、向井裕美、小林知里、小野寺隆一、西野浩史
2. 発表標題 振動による行動および成長の制御：キノコバエ類に対する阻害効果と害虫防除への応用
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大江高穂、関根崇行、駒形泰之、小野寺隆一、阿部翔太、高梨琢磨
2. 発表標題 振動によるトマトのオンシツコナジラミ寄生密度抑制と着果促進 防除効果と増収効果の検証
3. 学会等名 第66回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 徳永絢子、小池卓二、高梨琢磨、大矢武志
2. 発表標題 トマト株加振による害虫防除・受粉促進のための効率的振動条件の検討
3. 学会等名 第32回バイオフィロントニア講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ayako Tokunaga、Takuma Takanashi、Takuji Koike、Takayuki Sekine、Takaho Oe、Junya Yase、Kouichi Yamamoto、Takuya Tomihara、Tomonori Shiba、Ryuichi Onodera、Shouta Abe
2. 発表標題 Signal Properties of Vibrator in Tomato House for Vibration Pollination
3. 学会等名 The 8th Annual Meeting of the Society for Bioacoustics (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井裕美、高梨琢磨、北島博
2. 発表標題 キノコ害虫防除技術の開発に向けて - キノコ栽培における天敵生物や振動を用いた新規害虫防除の試み -
3. 学会等名 電子情報通信学 通信ソサエティ 革新的無線通信技術に関する横断型研究会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高梨琢磨
2. 発表標題 昆虫の生物音響学：振動や音による行動制御機構とそれを応用した害虫防除技術の展開
3. 学会等名 日本応用動物昆虫学会大会第64回学会賞受賞講演 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大江高穂、関根崇行、駒形泰之、小野寺隆一、阿部翔太、高梨琢磨
2. 発表標題 振動の振幅はトマトのオンシツコナジラミ寄生密度抑制と収量増加に寄与する
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高梨琢磨
2. 発表標題 昆虫の音と振動の世界
3. 学会等名 藤原ナチュラルヒストリー振興財団シンポジウム（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 TAKANASHI Takuma
2. 発表標題 Vibration sense and its application to pest control in longicorn beetles
3. 学会等名 6th Annual Meeting of the Society for Bioacoustic（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田健吾、高梨琢磨、小池卓二、阿部翔太、細川昭、小野利文、小野寺隆一、田山巖、大江高穂、関根崇行
2. 発表標題 基質振動を用いた新たな害虫防除技術の開発
3. 学会等名 日本機械学会第32回バイオエンジニアリング講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大江高穂、関根崇行、駒形泰之、小野寺隆一、阿部翔太、高梨琢磨、柴田健吾、小池卓二
2. 発表標題 施設栽培トマトにおける振動を用いたオンシツコナジラミの防除と受粉促進
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関根崇行
2. 発表標題 振動防除の実用化と効率的な利用方法に向けた取り組み
3. 学会等名 第64回日本応用動物昆虫学会大会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 高梨琢磨、向井裕美ほか	4. 発行年 2021年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 304
3. 書名 音響学の展開	

1. 著者名 下村政嗣編 森直樹、高梨琢磨、中野亮	4. 発行年 2021年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 350
3. 書名 バイオメティクス・エコメティクス 農業とバイオメティクス	

1. 著者名 生物音響学会（編集委員代表：高梨琢磨）	4. 発行年 2019年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 464
3. 書名 生き物と音の事典	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 振動を用いたキノコの栽培技術	発明者 高梨琢磨、向井裕美、小林知里ら	権利者 国立研究開発法人森林研究・整備機構他2機関
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-174731	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 動を用いた害虫の行動及び成長の制御によりキノコ類を保護する方法	発明者 向井裕美、高梨琢磨、小野寺隆一、阿部翔太、小野利文	権利者 立研究開発法人森林研究・整備機構他1機関
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-116885	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 振動を用いた樹木害虫の防除法	発明者 高梨琢磨、衣浦晴生、向井裕美、小池卓二、他11名	権利者 国立研究開発法人森林研究・整備機構他4機関
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-027836	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 振動を用いた害虫の行動制御により植物を保護する方法	発明者 高梨琢磨、小池卓二他9名	権利者 国立研究開発法人森林研究・整備機構他5機関
産業財産権の種類、番号 特許、特許第6849186号	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	小池 卓二 (Koike Takuji) (10282097)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授 (12612)	
研究分担者	関根 崇行 (Sekine Takayuki) (80500967)	宮城県農業・園芸総合研究所・園芸環境部・上席主任研究員 (81306)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	向井 裕美 (Mukai Hiromi)	国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所	
研究協力者	大江 高穂 (Oe Takaho)	宮城県農業・園芸総合研究所・園芸環境部	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関