

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：17201

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2021

課題番号：20K21316

研究課題名（和文）カメムシに被害されたダイズは、いかにして次世代の開花・結実時期を変化させるのか

研究課題名（英文）Transgenerational changes in pod maturation phenology infested by the bean bug

研究代表者

徳田 誠（Makoto, Tokuda）

佐賀大学・農学部・准教授

研究者番号：60469848

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：カメムシが寄主植物に植物ホルモンなどを注入することにより代謝を攪乱している可能性や植物が昆虫からの被害を回避するため適応継代効果を示す可能性に着目し、ダイズ害虫ホソヘリカメムシの体内に含まれる植物ホルモンを分析し、ダイズの原種ツルマメを用いてカメムシの被害が当世代および次世代に及ぼす変化に着目して研究を実施した。ツルマメの栽培実験では、ダイズと同様に結実時期の遅延、不稔率の増加などが確認された。加害試験で得られたツルマメの種子を用いて次世代の形質を比較した結果、カメムシ加害株由来の次世代では結実が有意に早まり、総莢数や総種子数が減少した。一方、1粒あたりの種子の平均重量は増加した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、カメムシによるマメ科植物の操作やそれに対する植物側の防御応答を明らかにした。今回確認された昆虫の加害を受けた植物の次世代における種子形成フェノロジーの変化は極めて稀な現象である。今後、青立ち現象の詳細なメカニズムや、次世代で見られた被食防御応答の詳細が明らかにできれば、ダイズにおける害虫被害の軽減や、マメ科作物における一斉登熟性の付与や種子品質の向上などに貢献できる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：We analyzed phytohormones contained in the body of the soybean pest, the bean bug *Riptortus pedestris*, and examined effects of the bean bug feeding on the current and next generation of soybean and *Glycine soja*. In the cultivation experiment of *G. soja*, delayed fruiting time and increased percentage of sterile pods were observed as in soybean. In the next generation of *G. soja*, of which parental generation had experiment feeding damages by the bean bug, plants fruited significantly earlier and produced fewer but larger seeds than the control plants. Because earlier seed maturity results in asynchrony with occurrence of *R. pedestris*, the transgenerational changes in plant phenology are considered to be an adaptive transgenerational and chronological defense for the plant against feeding by the bean bug.

研究分野：生態学

キーワード：ダイズ ツルマメ ホソヘリカメムシ フェノロジー 継代効果

## 1. 研究開始当初の背景

植物は物理的防御、化学的防御、生物的防御など、様々な手段で植食者から身を守っている。これらの中には、常に発現しているものだけでなく、加害に応じて発動するものもある（誘導防御）。また、中には食害された次世代で棘やトライコームが増加するなど、世代を超えて発現する防御も知られている。このような遺伝子の変異を伴わないエピジェネティックな表現型の変化は適応継代効果 *adaptive transgenerational effects* と呼ばれ、植物の環境適応を考える上で重要である。しかしながら、被食防御応答の適応継代効果に関しては知見が限られている。

ダイズはカメムシの多発生に伴い「青立ち」現象を示すことが知られている。青立ちとは、植物体が秋まで緑色のままで種子への転流が進まず、結実が遅延し収量が低下する現象であり、ダイズにおけるシンク-ソースのバランスが崩れることにより生じると考えられている。その詳細なメカニズムは未解明であるが、「青立ち」が生じた植物の表現型の特徴から、カメムシが体内に有している植物ホルモンなどを植物体に注入することにより植物のシンク機能が促進され、老化抑制作用が働いている可能性がある。

## 2. 研究目的

本研究では、カメムシなどの吸汁性昆虫が寄主植物に植物ホルモンなどを注入することにより代謝を攪乱している可能性、また、植物が昆虫からの被害を回避するため、適応継代効果を示す可能性に着目し、ダイズ害虫として知られるホソヘリカメムシの体内に含まれる植物ホルモンを分析するとともに、ダイズの原種ツルマメを用いてカメムシの加害により当世代および次世代で生じる変化に着目して研究を実施した。

## 3. 研究方法

野外調査によりツルマメの結実時期とホソヘリカメムシの発生時期の関係を調査するとともに、ホソヘリカメムシが加害したツルマメでもダイズと同様に青立ちが発生するかを調査した。ホソヘリカメムシが加害したツルマメと非加害のツルマメの種子を採取して栽培し、種子形質や結実フェノロジーに適応継代効果が認められるか否かを調査した。

ホソヘリカメムシの内生オーキシンおよびサイトカイニン（イソペンテニルアデニン、トランスゼアチン）およびそれらのリポシド体の濃度を、安定同位体標識による内部標準を用いた既知の方法に従って全身抽出液を使用して測定した。

温室においてダイズ（*cv.* Bay）の子実肥大盛期（R6）においてカメムシ放飼および植物ホルモン（オーキシン・サイトカイニン）処理を10日間実施し、葉の光合成速度、SPAD値（葉の緑度の指標）および窒素含量の推移、また、植物ホルモン濃度、青立ち程度、収量構成要素を調査した。

#### 4. 研究成果

野外調査の結果、ホソヘリカメムシは平地では年3世代、山地では年2世代を繰り返していることが示唆され、いずれの地点でも秋の世代の発生時期が野外におけるツルマメの開花・結実時期と一致していた。

温室におけるダイズの栽培実験では、10日間のホソヘリカメムシ放飼処理により、青立ちの評価指標である葉のSPAD値および葉内窒素含量の低下が遅くなり、最終的な青立ち指数も対照区より高くなった。また、ダイズ葉内におけるイソペンテニルアデニンのリボシド体の濃度が上昇した。各種植物ホルモン処理は青立ち指数を高め、とくにサイトカイニン処理区では、ホソヘリカメムシによるダイズの青立ち現象と類似した表現型の変化が認められた。

温室におけるツルマメの栽培実験では、ダイズと同様に結実時期の遅延、板莢（不稔莢）率の増加などが確認された。このうち、結実時期の遅延に関してはダイズの方がより顕著であり、板莢率の増加はツルマメの方がより顕著であった。加害試験で得られたツルマメの種子を用いて次世代の形質を比較した結果、ホソヘリ加害株由来の次世代では結実が有意に早まり（図1）、総莢数や総種子数が減少した（図2左）。一方、1粒あたりの種子の平均重量は増加した（図2右）。

ホソヘリカメムシの体内からは、一定濃度のオーキシンおよびイソペンテニルアデニン、そしてそのリボシド体が検出されたが、トランスゼアチンおよびそのリボシド体はほぼ検出されなかった。

これらの結果は、ホソヘリカメムシが吸汁により植物の結実を遅延させ、自身や子孫の生存可能な期間を延長していること、および、ホソヘリカメムシに吸汁されたツルマメの次世代は、生殖成長期を早めて秋のホソヘリカメムシの発生時期より前に結実していることを示唆するものである。

青成ちは植物体の枯死を遅延させ、吸汁可能期間が延長されることから、昆虫にとって適応的な現象、すなわち、昆虫が積極的に寄主植物を操作し、自身に有利な状態に改変した結果と解釈できる。

ホソヘリカメムシの体内からはイソペンテニルアデニンのリボシド体が検出され、植物ホルモンを処理した実験区では、サイトカイニン処理区でホソヘリカメムシによる青成ちと類似の症状が確認された。ホソヘリカメムシは吸汁時に植物体内にサイトカイニンなどの植物ホルモンを注入して青成ちを引き起こしている可能性がある。

一方、植物にとって青成ち現象は種子生産の低下につながり、生態学的には適応度を下げてしまう。したがって、青成ちの発症を避けるために植物が何らかの対抗手段を発達させている可能性が考えられる。本研究で、ホソヘリカメムシに加害された次世代のツルマメにおいて開花・結

実時期が変化という現象が確認された。上述のように、野外におけるカメムシの秋世代の発生はツルマメの結実時期と同期していたことから、仮に開花・結実が早まれば、ホソヘリカメムシの秋世代が発生する前に種子を実らせることが可能となるため、植物にとって適応的となる。したがって、この現象はホソヘリカメムシ加害による「青立ち」を回避するための植物側の防衛手段である可能性がある。

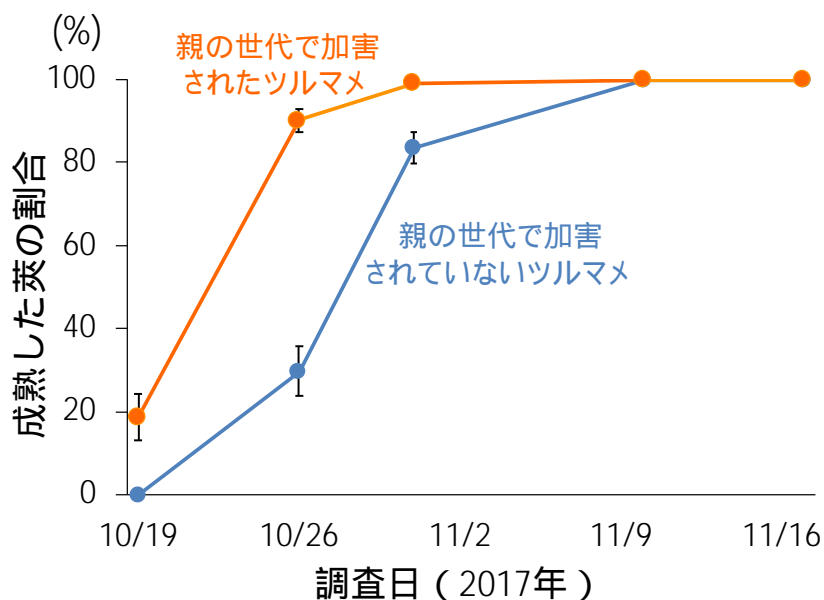


図1. 親の世代でホソヘリカメムシに加害されたツルマメと非加害(対照区)のツルマメにおける子世代の莢の成熟フェノロジー. 親世代でカメムシによる加害を経験すると、子世代で莢の成熟が有意に早まる。

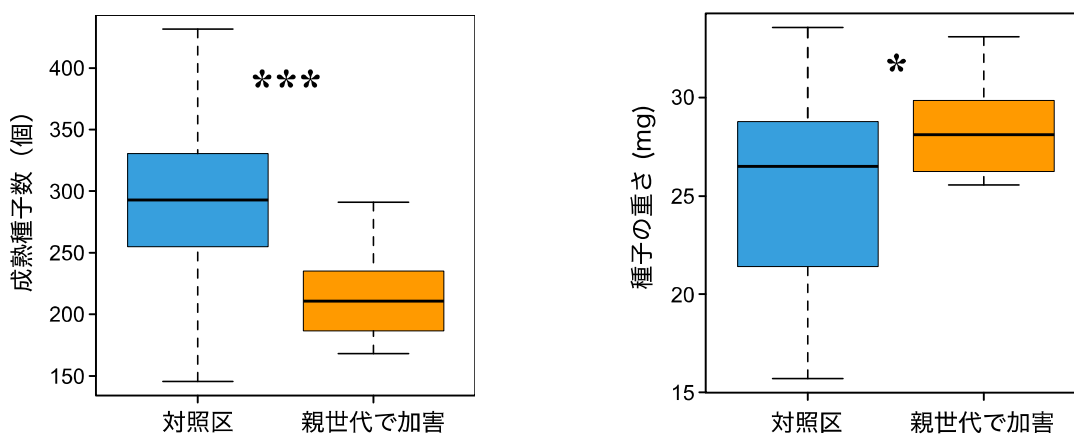


図2. 親の世代でホソヘリカメムシに加害されたツルマメと非加害(対照区)のツルマメにおける成熟種子数(左)および1粒あたりの平均種子重(右). 親世代でカメムシによる加害を経験すると、子世代で種子数は減少するものの、平均の種子サイズは増加する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Tokuda, M., Suzuki, Y., Fujita, S., Matsuda, H., Adachi-Fukunaga, S. and Elsayed, A. K.	4. 巻 12
2. 論文標題 Terrestrial arthropods broadly possess endogenous phytohormones auxin and cytokinins	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 4750 (1-9)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-08558-6	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 -

1. 著者名 Adachi-Fukunaga, S., Nakabayashi, Y. and Tokuda, M.	4. 巻 17
2. 論文標題 Transgenerational changes in pod maturation phenology and seed traits of Glycine soja infested by the bean bug Riptortus pedestris	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e026394 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0263904	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1件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大場裕太郎・鄭紹輝・鈴木義人・徳田 誠
2. 発表標題 ホソヘリカメムシの寄主操作によるダイズの青立ち誘発の可能性
3. 学会等名 第65回日本応用動物昆虫学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	鈴木 義人  (Suzuki Yoshihito)  (90222067)	茨城大学・農学部・教授    (12101)	

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 分 担 者	鄭 紹輝  (Zheng Shao-Hui)  (90253517)	佐賀大学・農学部・教授     (17201)	

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