

研究成果報告書

作成年月日 2025 年 10 月 10 日

一般財団法人加藤育英基金 御中

研究機関(大学)名 摂南大学

研 究 代 表 者 平原 嘉親

貴財団から給付を受けた助成金を活用し、下記のとおり研究を行いましたのでその成果を報告します。

記

- 1 研究課題:昆虫食のばく露評価に関する研究
- 2 研究期間:自 2024年 3月 ～ 至 2025年 9月
- 3 助成金額: 100 万円
- 4 共同研究者:
・アジレント・テクノロジー株式会社
- 5 研究報告:(研究内容(概要)を1,500～2,000文字程度で)

【目的】

世界的な食糧不足が進行する中、代替食品源として昆虫食が着目されている。昆虫は人が生きていく上で欠かせない動物性タンパク質と脂質を多く含む。また、昆虫は、家畜よりも飼育に必要な餌や水が少ないため、環境負荷も抑えることができる。さらに、食品廃棄物を昆虫の餌にすることで環境にも配慮した次世代型の食材として国内でも商業化されており、コオロギを配合したパンやビスケットなどがスーパーなどで売られている。一方で、昆虫食の普及のためにはその安全性確保が不可欠である。しかし、日本では昆虫食に対する品質管理

やリスク管理に関する法的な規制はなく、安全性に関するエビデンスは不十分な状況にある。そこで、昆虫食の有害リスクの一つである農薬に着目した。昆虫食による農薬のリスクを評価するためには、昆虫食中の農薬の残留量を正しく把握することが必要である。しかし、農薬の多成分の分析方法は未だ確立されていないため、残留状況が十分に把握できていない状況にある。本研究では、昆虫食の農薬の安全性確保を目的として、国内で入手可能な昆虫食8種を対象として、多成分の農薬の分析法の開発を行った。

【方法】

研究対象とした昆虫食は、市販品の①ヨーロッパイエコオロギ、②ジャマイカンフィールドコオロギ、③フタホシコオロギ、④ワタリバタ、⑤アジアフォーレストスコピーオン、⑥シルクワーム、⑦バンブーワームおよび⑧タイワンタガメの8種類とした。対象農薬は、富士フィルム和光純薬株式会社の農薬混合標準溶液 PPL 7、8、14、15、16および17とした。定量は、標準添加法で行い、トリプル四重極LC-MS(アジレント・テクノロジー社製:LC-TQ:G6475A)を用い、標準品の添加はオートサンプラのインジェクションプログラムを用いた。サンプルへの添加濃度は、0、1、3、10 および 30 $\mu\text{g/L}$ とし、標準品の希釈溶媒はアセトニトリルを用いた。サンプルの定量値は、3回の前処理操作の繰り返し平均値を用いた。LC-MSの測定では、高速液体クロマトグラフ(HPLC)用分析カラム ZOBAX RRHD Eclipse Plus C18 (3.0 mm I.D.×100 mm, 1.8 μm)を用いた。測定は、カラム温度40℃、流速0.25 mL/min、注入量1 μL で行った。移動相は、A液2 mmol/L 酢酸アンモニウム溶液、B液メタノール、C液イソプロパノールを用いた。イオン化法は、エレクトロスプレーイオン化法(ESI)を用い、乾燥窒素ガス300℃、10 L/min、シーガス350℃、10L/min、キャピラリー電圧 3500 V(+), 2500 V(-)、DL温度250℃、イオン源(Agilent Jet Stream (ESI))を用い、ダイナミックMRMモードで測定した。

LC-MS用試験液の調製は、15 mL遠沈管に粉碎した試料0.5 mLを測り取った。添加試料には100 ppbの農薬標準溶液を50 μL を添加し、一律基準の10 ng/g、最終試験液の農薬濃度は1 ng/gとした。これに水1mLを加え、室温で30分間膨潤させた。その後、0.1%ギ酸を含むアセトニトリル溶液4 mLを加え、30分間室温にて超音波抽出し、遠心分離(5,000 r.p.m×5分間、4℃)を行った。この上清1 mLをCaptiva EMR-Lipidカラム(3mL、300mg(アジレント・テクノロジー社製:5910-100))に手動で加圧して通過させ、初留約500 μL を廃棄後、残液を捕集してLC-MS測定用試料とした。

【結果および考察】

標準溶液 (1 $\mu\text{g/g}$)濃度の測定において、ナフタレン酢酸以外の約190種類の農薬が、検出可能であった。これら農薬の検量線は、ナフタレン酢酸の次に低感度であったクロプロップ、MCPA、トリクロピルおよびアバメクチンB1aを含む農薬において、決定係数0.999以上の直線性が示された。また、EMR-Lipidによる脂質除去効果を確認するために、ベースピーククロマト(BPC)を用いてMSスキャンデータの比較を行った。その結果、ベースピークの大

きな変動は認められず良好な脂質除去効果が確認された。次に、8種類の昆虫食の添加回収率を求めた。図に示すように、多くの農薬が回収率 80～120%の範囲内に収まり、昆虫食のマトリックス中の1 ng/gにおいて98 %以上の農薬が検出可能であることが確認された。

8種類の昆虫食に169種類の農薬を標準添加し、各農薬に対して5点の濃度の検量線を作成した。この検量線を用いて、3回の繰り返し測定により農薬の残留状況の把握を試みた。その結果、表に示すように、昆虫食8種類中、5種類から農薬が検出された。検出農薬の多くは殺菌剤と除草剤であり、⑥シルクワームでは昆虫成長抑制剤であるルフフェニユロンが検出された。また、⑦バンブーワームおよび⑧タイワンタガメからは、アミド系殺菌剤であるボスカリドとフェノキシ酢酸系除草剤の2,4-Dが検出された。これら昆虫食を1日10 g摂取したとして、これら検出した農薬の値は、いずれもこれら農薬のADI(一日摂取許容量)に比べて低い値であった。

以上、タンデム型LC-MSを用いて昆虫食に含まれる約170種類の農薬の分析法が確立された。このことにより、昆虫食中の農薬の残留量が把握することが可能になり、農薬のばく露評価が可能になった。本研究結果は、昆虫食の安全性確保に役立ち、科学的根拠(エビデンス)に基づく昆虫食の普及が可能となり、消費者の昆虫食の安全と安心につながると考えられる。

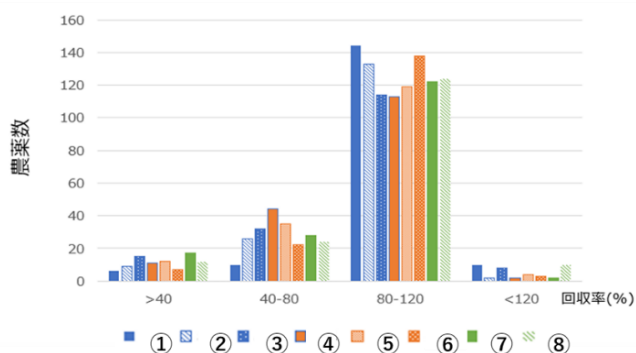


図 各食用昆虫の添加回収率

表 各食用昆虫の農薬検出状況

食用昆虫	農薬名	平均濃度 (ng/g)
①	N/D	—
②	アシフルオフェン	1.51±0.05
	アメトリン	2.26±0.34
③	N/D	—
④	N/D	—
⑤	ボスカリド	33.6±14.4
	エポキシコナゾール	4.02±0.70
⑥	アメトリン	12.5±0.56
	シメコナゾール	1.78±0.08
	ルフフェニユロン	1.91±0.31
⑦	2,4-D	1.68±0.44
⑧	2,4-D	2.46±0.95
	ボスカリド	3.84±0.86

6 具体的な成果:

- ① タンデム型LC-MSを用いて昆虫食に含まれる約170種類の農薬の分析法が確立された。
- ② 昆虫食の農薬の残留状況の把握が可能になった。
- ③ 昆虫食のばく露評価が可能になった。
- ④ 昆虫食中の農薬の残留値は、ADI(一日摂取許容量)に比べて低いことが示された。
- ⑤ 科学的根拠に基づく昆虫食の普及が可能になり、昆虫食の安全、安心につながった。

7 発表論文、著書、講演など:(予定を含む)

- (1) 日本食品化学学会第30回総会・学術大会発表(2024年度、東京ビッグサイト)

- (2) 教育学術新聞 リサーチ万華鏡(2024年5月22日)食品安全で人類を救おう
-昆虫食の安全・安心を得る技術開発-にて、研究概要を紹介。
- (3) Scopus掲載論文に掲載予定。

以上