

厚生労働科学研究費補助金
(食品の安全確保推進研究事業)

「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う
安全性確保のための研究

令和5年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 志田 静夏

令和6（2024）年 5月

目 次

I. 総括研究報告

- 「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究 ----- 1
志田(齊藤)静夏

II. 分担研究報告

1. 課題1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査 ----- 20
志田(齊藤)静夏
2. 課題2 微生物・マイコトキシンの汚染実態調査及びリスク評価 ----- 53
渡辺麻衣子
3. 課題3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討 ----- 71
安達玲子
4. 課題4 諸外国の規制等の文献調査 ----- 79
畠山智香子

III. 研究成果の刊行に関する一覧表 ----- 150

I． 総括研究報告

研究分担者 志田（齊藤） 静夏

厚生労働科学研究費補助金(食品の安全確保推進研究事業)
令和5年度 総括研究報告書

「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究

研究代表者 志田(齊藤)静夏 (国立医薬品食品衛生研究所 食品部・第三室長)

研究要旨

課題 1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向けて、有害元素、農薬及びダイオキシン類の分析法を検討した。有害元素の分析法として、マイクロ波分解/誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)法を用いたカドミウム、鉛及びヒ素分析法及び加熱気化型水銀分析計を用いた総水銀分析法の昆虫食への適用性を検討した。カドミウム、鉛及びヒ素分析法の性能を評価(添加濃度 0.1 mg/kg)した結果、真度 97~105%、併行精度及び室内精度 6%未満となった。また、総水銀分析法の性能を評価(添加濃度 0.005 及び 0.2 mg/kg)した結果、真度 97~104%、併行精度及び室内精度 4%未満となった。これらの結果から、いずれも実態調査のための分析法として妥当であることが示された。昆虫食を対象とした新規農薬分析法として、LC-MS/MS 及び GC-MS/MS を用いた農薬一斉分析法を開発した。本法はアセトンで抽出後、多孔性ケイソウ土カラムで脱脂し、3 種の充填剤(オクタデシルシリル化シリカゲル(ODS)、エチレンジアミン-*N*-プロピルシリル化シリカゲル(PSA)及びトリメチルアミノプロピルシリル化シリカゲル(SAX))を混合したミニカラム(GC-MS/MS 法はアルミナが積層されたミニカラム)で精製して LC-MS/MS または GC-MS/MS で測定する方法である。添加濃度 0.01 mg/kg で妥当性評価試験を行った結果、LC-MS/MS 法は 144 化合物中 135 化合物、GC-MS/MS 法は 141 化合物中 134 化合物で妥当性評価ガイドラインの真度、精度及び選択性の目標値を満たした。これらの結果から、一部の農薬を除き、昆虫食の汚染実態調査のための分析法として妥当と考えられた。ダイオキシン類分析法として、従来から当所で使用している分析法(従来法)の昆虫食に対する適用性を検討した。その結果、前処理の操作性に大きな問題はないことが確認された。また、世界保健機関(WHO)が毒性係数(TEF)を定めた PCDDs 7 種、PCDFs 10 種及び Co-PCBs 12 種について添加回収試験を行ったところ、回収率 84.1~111.9%、併行精度 1.9~13.3%の良好な結果が得られた。これらの結果から、従来法は昆虫食のダイオキシン類分析法として適用可能であることが示された。本研究で確立した分析法を用いて、来年度以降、国内に流通する昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査を行う予定である。

課題 2 微生物・マイコキシンの汚染実態調査及びリスク評価

国内流通昆虫食の微生物分布およびマイコキシン汚染の実態を調査するため、今年度はこれらの検出法である培養法、分子生物学的手法、質量分析法などについての性能評価等予備検討を実施した。国内に流通するコオロギ、カイコ、ミルワーム等の昆虫食 12 製品を対象として、昆虫食での分布程度が高い細菌および真菌種を明らかにして試験法の絞り込みを行うため、培養法による細菌・真菌の網羅的検出を行った。またそのうち 8 製品については、マイコキシンの添加回収実験を行っての 7 種マイコキシンの一斉分析法の性能評価、および寄生虫 DNA の添加回収実験を行ってのリアルタイム PCR 法の性能評価を行った。その結果、真菌では *Aspergillus* 属菌等が検出されたが、健康影響が比較的強い

とされるマイコトキシンの産生菌種ではなかった。細菌では、最大で 1.2×10^8 cfu/g であった一方で非検出の製品も複数あり製品毎に生菌数に大きな差があること、今回の調査では複数製品から食中毒と関連のある大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌が検出された。また真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。今回の調査では昆虫食製品からは動物の腸内や土壌等環境中に広く存在する細菌群が多く分布したことが示され、昆虫食の喫食による食中毒を防ぐためには、他の食品同様に、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理の重要性が示唆された。マイコトキシン分析法については、7 種マイコトキシン一斉分析法は、一斉に検出可能である利点を活かし食用昆虫におけるマイコトキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。寄生虫のリアルタイム検出法については、供試した全ての昆虫食製品から、低濃度のクリプトスポリジウムまたはジアルジア DNA を昆虫食から検出できることを示した。次年度は今年度の研究成果から示された適した試験法を用いて、昆虫食製品から微生物およびマイコトキシンの汚染実態調査を実施する予定である。

課題 3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討

甲殻類の主要アレルゲンタンパク質は昆虫類のアレルゲンタンパク質と交差反応性を示すことから、昆虫食は甲殻類アレルギー患者においてアレルギー症状を誘発する可能性がある。本課題では、国内で現在市販されている昆虫食のアレルゲン性について甲殻類主要アレルゲン(トロポミオシン)との交差反応性、ならびにアレルギー患者血清との反応性、そして加工工程におけるアレルゲン性の変化について検討する。本年度は、公定検査法として定めている甲殻類アレルゲンの定量検査法(ELISA 法)を用いて、昆虫食に含まれるタンパク質の交差反応性について検討した。昆虫の種類や加工度が異なる12検体を解析に供したところ、すべての検体において甲殻類トロポミオシン特異的抗体が認識するタンパク質が含まれていた。今後、甲殻類アレルギー患者血清を用いた検討を中心に、昆虫食に含まれるタンパク質の健康被害に与える影響について、さらなる科学的知見を集積することが必要と考えられる。

課題 4 諸外国の規制等の文献調査

昆虫食の安全性確保のために必要なリスク管理について提案することを目的とする本研究のうち、本課題では諸外国及び国際機関等の安全性や規制等に関する情報を継続的に収集し、日本に必要な対策の参考とすることが目的である。また新たに利用されるようになった品種や食品安全上のハザード情報など、関連情報を更新することで変化する状況に対応するための備えとする。今年度はこれまでの諸外国の規制機関情報の概要をまとめるとともにいくつかの文献情報を収集した。また最も利用が進んでいると思われる食用コオロギについて、欧米のリスク評価・リスク管理機関がどのような情報を考慮しているのかを検討した。

研究分担者

志田静夏(国立医薬品食品衛生研究所 食品部・第三室長)

渡辺麻衣子(国立医薬品食品衛生研究所 衛生微生物・第三室長)

安達玲子(国立医薬品食品衛生研究所 生化学部・第三室長)

畠山智香子(国立医薬品食品衛生研究所 安全情報部・部長)

A. 研究目的

国際連合食糧農業機関(FAO)は 2013 年に報告書「Edible insects: future prospects for food and feed security」を発表し、昆虫はタンパク質やミネラル等の栄養成分が豊富であること、牛や豚等よりも飼料変換効率が高く、環境への負荷を抑制できる

ことから、人口増加による食糧不足の解決の一助となる可能性を示した。この報告書が発表されて以降、養殖昆虫は食糧源や飼料源として注目されており、世界各国で昆虫の養殖や食料化、飼料化に関する研究が行われている。一方で、FAO は報告書「Looking at edible insects from a food safety perspective」(2021 年)の中で、昆虫の養殖や加工において十分管理が行われなければ、有害化学物質や微生物等に汚染する可能性があることと安全性への懸念も示している。昆虫の養殖では、食品廃棄物や農業廃棄物等が飼料として用いられる場合があるが、飼料が有害化学物質や微生物等に汚染されていた場合、飼料を介して昆虫が汚染し、昆虫種/汚染物質によっては蓄積する可能性がある。また、昆虫の養殖は、微生物の増殖に適した温度帯で行われるため、養殖環境等の衛生管理が十分に行われなかった場合、微生物やマイコトキシンによる汚染を受ける可能性が増大する。加えて、甲殻類の主要アレルゲンタンパク質は昆虫類のアレルゲンタンパク質と交差反応性を示すことから、昆虫食は甲殻類アレルギー患者においてアレルギー症状を誘発する可能性があることが指摘されている。このようなことから、EU 等の諸外国では昆虫食の安全性評価が進められている。一方、我が国ではほとんど調査研究が行われておらず、昆虫食の安全性に関する科学的知見は限られている。本研究では以下の 4 課題に取り組むことで、国内に流通する昆虫食の安全性について総合的に調査し、昆虫食全般のリスク管理を検討する際の基礎的データを提供することを目的とした。

課題 1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

国内に流通する昆虫食を対象に有害化学物質(有害元素、農薬及びダイオキシン類)の汚染実態

を把握し、昆虫食の喫食による健康危害リスクについて考察することを目的とした。本年度(1年目)は、昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向け、昆虫食を対象とした有害元素(カドミウム、鉛、ヒ素及び水銀)、農薬及びダイオキシン類分析法を検討した。有害元素及びダイオキシン類は当所で従来から用いている方法の昆虫食に対する適用性を検討した。農薬については昆虫食を対象とした新規一斉分析法を開発し、その妥当性を評価した。

課題 2 微生物・マイコトキシンの汚染実態調査及びリスク評価

昆虫の養殖は真菌・細菌の増殖に適した温度・湿度で行われるため、昆虫食製品にこれらの微生物が混入・増殖する可能性は十分にある。また養殖環境における水や土壌から、ヒトに健康被害を及ぼす寄生虫が昆虫を汚染する可能性も想定する必要がある。これらの微生物が食用昆虫を汚染し、食中毒が起こるリスクがある。その一方で、昆虫食の微生物衛生学的安全性に関わるデータは不足しており、特に日本国内に流通する昆虫食製品を対象とした調査報告は非常に少ない。

昆虫食を含む食品上でマイコトキシン産生菌が増殖した場合に、食品はマイコトキシンの汚染される可能性がある。日本における食品中のマイコトキシンの規制については、リンゴジュース中のパツリン、小麦玄麦中のデオキシニバレノール(DON)、全食品中の総アフラトキシン(アフラトキシン B₁: AFB₁、アフラトキシン B₂: AFB₂、アフラトキシン G₁: AFG₁、アフラトキシン G₂: AFG₂)および乳中のアフラトキシン M₁ に対して規制値又は基準値が設定されている。また、2023 年 12 月に実施された薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会食品規格部会において、オクラトキシン A(OTA)の規制に関する

議論がなされ、小麦と大麦について基準値を設定することが了承された。昆虫食でも、これら 7 種のマイコトキシンの汚染実態調査を把握する意義は大きい。

昆虫食を汚染する寄生虫については、過去に汚染実態を報告するデータは無いことから、対象候補として、土壌や水を汚染することが知られる寄生虫から、クリプトスポリジウム、赤痢アメーバ、ジアルジア、サイクロスポーラ、トキソプラズマ、エキノコックスといった原虫類を想定した。これらの簡便な培養法は存在しないため、検出には遺伝子検査法を使用する必要がある。

そこで本研究では、国内流通昆虫食の微生物分布およびマイコトキシン汚染の実態を調査するために、今年度はこれらの検出法である培養法、分子生物学的手法、質量分析法などについての性能評価等予備検討を実施した。

課題 3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討

昆虫食が新たなタンパク源として注目される中、昆虫には甲殻類に似たアレルゲンが含まれており、「えび」や「かに」にアレルギーを持つ人ではアレルギー反応を引き起こす可能性がある」と指摘されている。また、国内において、昆虫を喫食したことによるアナフィラキシー症状を呈した症例の報告があり、海外では同様のアナフィラキシー発症事例が多数報告されている。したがって、昆虫食に対する需要の拡大は、国民に健康被害の生じる懸念が残るため、安全性に関する研究を進展させ、毒性にかかわる科学的知見を収集することが望まれる。

昆虫食のアレルゲンは、甲殻類のアレルゲンと構造が非常によく似た相同タンパク質が含まれている。主要アレルゲンの一つにトロポミオシンがあり、これは熱に強い性質をもつため、加熱調理してもアレルギー反応を引き起こす可能性が残る。研究

分担者である安達らは、昆虫を原料とする健康食品には甲殻類トロポミオシン特異的抗体が反応するタンパク質が含まれていること、そして、甲殻類アレルギーの患者が昆虫食を喫食することにより、アレルギー症状が誘発される可能性があること等をこれまで示してきた。そこで、本分担研究では、国内で現在流通している市販昆虫食のアレルゲン性について甲殻類主要アレルゲン(トロポミオシン)との交差反応性、ならびにアレルギー患者血清との反応性、そして加工工程におけるアレルゲン性の変化について検討する。

食物アレルゲンを含む加工食品は、食品表示法にてアレルゲンの表示が義務付けられており、表示を検証するための公定検査法が定められている。令和 5 年度は、公定検査法を用いて、入手可能な昆虫食 12 検体について、昆虫食に含まれるタンパクの甲殻類アレルギーにおける交差反応性を検証した。

課題 4 諸外国の規制等の文献調査

食品としての昆虫は一部地域で比較的少数が利用されてきたことはあるものの、大規模生産・流通はこれまで行われてこなかった。近年、特に 2013 年の FAO による食用昆虫報告書発表以降、地球環境への負荷を軽減できるとして昆虫を蛋白源として使おうと動きがあり、日本でも食用昆虫の産業化がおこりつつある。食品の安全性の確保は一義的には食品事業者の責任ではあるが、昆虫食のようなこれまであまり経験のないものについては通常の食品とは異なる制度を作ったりガイドラインを作成したりするケースが多い。日本では昆虫食について特別な制度はないが今後必要になる可能性もある。こうした状況を背景に、この課題では諸外国の制度の調査と文献調査を行い、本研究班の他の分担課題での昆虫食における有害化学

物質、微生物、マイコトキシンの汚染実態調査や、アレルギー性や飼料・加工による影響検討の進展に並行して随時更新する。

B. 研究方法

課題 1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

[1] 検体

有害元素及び農薬の分析法の検討にはインターネットを介して購入した昆虫食 8 製品 (23-001～23-007 及び 23-009) を用いた (表 1)。ダイオキシン類の分析法の検討には 3 製品 (23-001～23-003) を用いた。

[2] 試料調製

パウダー製品であった 23-003 はそのまま分析に用いた。その他の検体は有姿状態で販売されていたため、粉碎装置 GM200 及び GM300 (いずれも Verder Scientific 製) を用いて試料調製 (均質化) したものを分析に用いた。なお、回転刃はチタンコーティングされたもの、容器はポリカーボネート製のものを使用した。調製した試料は分析まで -30℃ で保管した。

[3] 分析法

I. 有害元素 (カドミウム、鉛及びヒ素)

分析用試料 0.50 g を石英製分解容器に量り採り、硝酸 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた。水 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた TFM (変性ポリテトラフルオロエチレン) 製分解容器に前述の石英製分解容器を入れ、マイクロ波試料前処理装置 (ETHOS One; Milestone 製) により分解した。分解は次の条件で行った。70℃ 2 分間 → 50℃ 1 分間 → 20 分間で 200℃ まで升温し、200℃ で 10 分間保持 (総分解時間: 33 分間)

分解後の溶液に混合内部標準溶液 0.5 mL を添

加後、水で 50 mL に定容し、ICP-MS (iCAP Q; Thermo Fisher Scientific 社製) により測定した。なお、内部標準元素にはインジウム及びタリウムを用いた。

無機ヒ素は一般財団法人日本食品分析センターに委託して分析を行った。

II. 水銀

総水銀は加熱気化型水銀分析計 MA-3000 (日本インスツルメンツ製) を用いて測定した。試料 100 mg をセラミック製サンプルボード (日本インスツルメンツ製) に精密に量り採り、測定に供した。水銀濃度が 0.01 mg/kg 未満の試料及び標準溶液の測定には低濃度用の吸光セル、0.01 mg/kg 以上の測定には高濃度用の吸光セルを用いた。試料は 150℃ で 1 分乾燥後、250℃ で 10 分間加熱し、さらに 800℃ で 2 分間加熱した。検量線用標準溶液は 150℃ で 1 分乾燥後、800℃ で 2 分間加熱した。なお、サンプルボードは、約 5 mol/L 硝酸に 12 時間以上浸け置きした後、水でよくすすぎ、使用する直前に 750℃ で 3 時間加熱した。これを冷却後、加熱気化型水銀分析計により 850℃ で 4 分間再加熱したものを使用した。

メチル水銀は一般財団法人日本食品分析センターに委託して分析を行った。

IV. 農薬

LC-MS/MS で測定可能な農薬 144 化合物及び GC-MS/MS で測定可能な農薬 141 化合物を対象とした。

1. 抽出

1) 乾燥試料

試料 10.0 g に水 20 mL を加え、30 分間放置した。これにアセトン 100 mL を加え、ホモジナイザーを用いて約 1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土を約 1 cm の厚さに敷いたろ紙を用いて吸引ろ過し

た。残留物を採り、アセトン 50 mL を加え、約 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、水 20 mL を加えた後、アセトンを加えて正確に 200 mL とした(抽出液)。

2) 冷凍試料

試料 20.0 g にアセトン 100 mL を加え、ホモジナイザーを用いて約 1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土を約 1 cm の厚さに敷いたろ紙を用いて吸引ろ過した。残留物を採り、アセトン 50 mL を加えて約 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトンを加えて正確に 200 mL とした(抽出液)。

2. 多孔性ケイソウ土カラム精製

抽出液 8 mL (乾燥試料: 試料 0.4 g 相当、冷凍試料: 0.8 g 相当) を採り、エタノール 5 mL を加えてエバポレーターで 0.5 mL 以下まで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去した。残渣をアセトニトリル飽和ヘキサン 3 mL に溶解して多孔性ケイソウ土カラムに負荷し、5 分間放置後、ヘキサン飽和アセトニトリル 30 mL で溶出した。これをエバポレーターで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去し、残留物をアセトニトリル 1 mL に溶解した。

3. ミニカラム精製

1) LC-MS/MS 対象農薬

InertSep VRA-PR (1600 mg) にアセトニトリル 5 mL を注入し、コンディショニングした。これに「2. 多孔性ケイソウ土カラム精製」で得られた溶液を注入した後、アセトニトリル 10 mL で溶出した。溶出液をエバポレーターで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去し、メタノール(乾燥試料の場合は 2 mL、冷凍試料の場合は 4 mL) に溶解して試験溶液とした。

2) GC-MS/MS 対象農薬

InertSep AL-N/VRA-PR (400 mg/1600 mg) にアセトニトリル 5 mL を注入し、コンディショニングした。

これに「2. 多孔性ケイソウ土カラム精製」で得られた溶液を注入した後、アセトニトリル 10 mL で溶出した。溶出液をエバポレーターで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去し、アセトン/ヘキサン(1:1) (乾燥試料の場合は 2 mL、冷凍試料の場合は 4 mL) に溶解して試験溶液とした。

4. 測定

LC-MS/MS 測定は Nexera X3 (島津製作所製) 及び Triple Quad 7500 (Sciex 製)、GC-MS/MS 測定はガスクロマトグラフ 7890 (Agilent Technologies 製) 及び質量分析計 Xevo TQ-XS (Waters 製) を用いて行った。

IV. ダイオキシン類

分析対象項目は、WHO が毒性係数 (TEF) を定めた PCDDs 7 種、PCDFs 10 種及び Co-PCBs 12 種の計 29 種とした。

ダイオキシン類の分析は、「食品中のダイオキシン類の測定方法暫定ガイドライン」(以下、ダイオキシン類測定方法ガイドライン) に準じた。測定は、高分解能 GC/MS 装置 7890 (Agilent Technologies) /MStation JMS-800D UltraFOCUS (日本電子(株) 社製) を用いて行った。

課題 2 微生物・マイコトキシンの汚染実態調査及びリスク評価

[1] 検体

国内で市販されている昆虫食製品 12 種類 (23-001~23-007、23-009 及び in02~in05) を検体として使用した(表 1)。

[2] 微生物培養法

来年度以降に昆虫食における真菌・細菌汚染実態調査の対象菌を決定するために、今年度は網羅的に分布する菌種を把握する目的で、培養法による網羅的菌検出を行った。

①汚染微生物の分離

各食用昆虫検体 25 g を 225 ml の PBS ×1 と混合し、ストマッカーを用いて 60 秒間懸濁した。これを試験原液とした。試験原液は PBS ×1 を用いて 10 倍段階希釈した後、初期検討として 12 製品中 5 種類の検体については、真菌網羅的分離の目的で dichloran rose-bengal chloramphenicol (DRBC) 培地および dichloran glycerol (DG-18) 培地、細菌網羅的分離の目的で plate count agar (PCA) 培地、pepton glucose-yeast extract agar (PGY) 培地、VRBG 培地およびチオグリコレート寒天培地、計 6 種類の平板培地 1 枚ずつに 100 μ L 塗抹した。残りの 7 検体では初期検討結果を参照し、violet red bile glucose agar (VRBG) 培地およびチオグリコレート寒天培地を除いた 4 種類の平板培地 1 枚ずつに 100 μ L 塗抹した。DRBC 培地および DG-18 培地は 25°C で 7 日間の好気培養を行った。PGY 培地は 25°C で 5 日間の好気培養を行った。PCA 培地および VRBG 培地は 37°C で 2 日間の好気培養を行った。チオグリコレート寒天培地は 37°C でアネロパック(三菱ガス化学株式会社)を用いて、添付の実験マニュアルに従い、2 日間の嫌気培養を行った。培養後、生菌数の計測を行った。生育したコロニー数を計測し、平板 1 枚あたりのコロニー形成単位 colony forming unit (cfu) を求めた。さらに培地に接種した希釈液の濃度から、昆虫食 1 g あたりの cfu を算出し、cfu/g の単位を用いて表わした。計測後、各培地上に形成されたコロニーについて、目視で認識できるレベルのコロニーの形態的特徴を指標として分類後、16 株を上限として各グループから網羅的に分離し、同定に供した。

②分離株の分類・同定

真菌は形態学的指標を同定に導入した。分離株コロニーを目視および実体顕微鏡にて観察し、図

譜と比較して同定した。

分子生物学的指標による同定方法については、液体培養した菌体から、真菌では DNeasy mini kit (株式会社 Qiagen) を用いて、細菌では DNA 抽出にはシカジーニース DNA 抽出試薬 ST (関東化学株式会社) を用いて、DNA を抽出した。これらをテンプレートとして、真菌では rDNA の 18S-ITS1-5.8S-ITS2-28S の部分塩基配列の PCR、細菌では 16s rDNA の部分塩基配列の PCR を行い、Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Thermo fisher Scientific Ltd.) およびキャピラリーシーケンサー 3730xl DNA Analyzer (Thermo Fisher Scientific Ltd.) を用いて塩基配列のシーケンスを行った。配列決定後、National Center for Biotechnology Information (NCBI) のデータベースに登録された配列との相同性検索を行い、相同率を参照した。真菌では、検出菌がマイコトキシン産生菌であるか否かを検討するためより詳細に同定する必要がある。上述の相同性検索の結果分離株が *Aspergillus* または *Penicillium* 属であった場合には *b-tub* 部分塩基配列を、*Fusarium* 属であった場合には *EF1- α* 部分塩基配列を決定し、NCBI のデータベースに登録された配列との相同性検索を行い、相同率を参照した。

[3] 質量分析法によるマイコトキシン検出法

マイコトキシンの質量分析法では、粉碎した各検体にアフラトキシン類 4 種、DON、OTA およびゼアラレノン (ZEN) の 7 種のマイコトキシンを一定量添加後、イムノアフィニティーカラムによる精製法と LC-MS/MS による検出法を組み合わせた以下のマイコトキシンの一斉分析法について、添加回収試験により性能評価を行った。また、イムノアフィニティーカラムの性能を評価するための比較対象として、精米においても同様の添加回収試験を実施

した。

破碎した検体 10 g にアセトニトリル、メタノールと水(1:1:2)の混合液 50 mL を加え、30 分間振盪抽出を行った。一部を 50 mL 容のプラスチックチューブに移し、1,710 g で 10 分間遠心分離した。上清 5 mL に PBS35 mL を加えて混合後、ガラス繊維ろ紙でろ過した。ろ液 20 mL をイムノアフィニティーカラム MaxSignal IAC 4 in 1 (PerkinElmer 社製)に添加後、自然落下で通液した。精製水 3 mL を 6 回カラムに通し、洗浄後、シリンジで残存する水分を除去後、2%の酢酸を含むメタノール 3 mL でマイコトキシンを溶出した。窒素気流により溶出液を乾固した後、1%の酢酸を含む 30%アセトニトリル水溶液 1 mL に溶解後、LC-MS/MS により計 7 種のマイコトキシンを定量した。

[4] リアルタイム PCR 法による寄生虫検出法

寄生虫の検鏡等による形態学的確認を伴わず簡便な、リアルタイム PCR 法による原虫 DNA の検出系を検討した。今年度はクリプトスポリジウムとジアルジアに対する検査方法を対象とした。

クリプトスポリジウムとジアルジアは、遺伝子検査キットが市販されているため、これらのキットが昆虫食で使用できるか検討した。クリプトスポリジウムまたはジアルジアの市販検査キットに付属の陽性コントロールプラスミドを粉碎した検体に添加し、キットの説明書に従いここから直接 DNA を抽出した。その後これをテンプレートとして、各検出キットの説明書に従いリアルタイムPCRを行って寄生虫DNAを検出した。使用キットは、クリプトスポリジウムの検出には Cycleave RT-PCR *Cryptosporidium* (18S rRNA) Detection Kit(株式会社タカラバイオ)を使用した。本キットは、*Cryptosporidium parvum*、*C. hominis*、*C. meleagridis*、*C. canis*、*C. felis*、*C. muris*、*C. andersoni*、*C. baileyi*、*C. bovis*、*C. wrairi*

を検出することができる。ジアルジアの検出には Cycleave RT-PCR *Giardia* (18S rRNA) Detection Kit(株式会社タカラバイオ)を使用した。本キットは、*Giardia lamblia*、*Giardia psittaci*、*Giardia microti*を検出することができる。DNA の抽出には、QIAamp DNA mini kit (株式会社 QIAGEN)を使用した。

課題3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討

[1] 検体

国内で市販されている昆虫食製品 12 種類(23-001~23-012)を検体として使用した(表 1)。

[2] 甲殻類 ELISA キットによる測定

アレルゲンを含む食品の表示制度における義務表示品目であるえび・かにの表示を検証するための ELISA キット 2 種(FA テスト EIA-甲殻類(島津ダイアグノスティクス(株)製、以下 S キット)、及び、甲殻類キット II「マルハニチロ」(マルハニチロ(株)製、以下 M キット)を用い、上記の昆虫食 12 検体について各キットにおける反応性を検討した。検体からのタンパク質抽出に関しては、通常の方法(室温で一晩(12 時間以上)振とう)に加えて、昆虫が含有するプロテアーゼによるタンパク質分解の可能性を考慮し、プロテアーゼ阻害剤(Halt Protease Inhibitor Cocktail(Thermo Fisher Scientific 社製))を添加する方法、及び加熱抽出法(100℃、30 分)も合わせて検討した。

課題4 諸外国の規制等の文献調査

世界各国の食品安全担当機関やリスク評価担当機関によるここ数年の発表を収集した。PubMed の文献検索および EurekAlert でのプレスリリースの監視等から、いくつかの文献をピックアップした。

C. 研究結果及び考察

課題 1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

[1] 試料調製の検討

試料調製には、1 kg 程度まで処理可能な GM300 (Verder Scientific 製) を用いた。重金属のコンタミを防止するため、回転刃はチタンコーティングされたもの、容器はポリカーボネート製のものを使用した。各検体を試料調製した結果、23-001 及び 23-002 のように脂質含量が高く、粘性が高いもの及び 23-005 のように繊維質が多いものでは粉碎中に回転が停止し、均質化するのが困難であった。そこで、検体約 1 kg を 200～300 g ずつに分け、より高い回転数で粉碎可能な GM200 (Verder Scientific 製) を用いて均質化した後、得られた試料を合わせ GM300 で再度、粉碎、混合したところ、いずれの試料も均質化することができた。このため、試料調製は検体を 200～300 g ずつに分け、GM200 で均質化後、得られた試料を合わせて GM300 で粉碎及び混合することとした。なお、検体量が 300 g 以下の場合は GM200 のみで試料調製を行うこととした。

[2] 分析法の検討

I. 有害元素(カドミウム、鉛及びヒ素)

1. 性能評価

マイクロ波分解/ICP-MS 法の昆虫食試料への適用性を検討した。23-009 を添加回収試験用の試料として用い、カドミウム、鉛及びヒ素の各元素について添加濃度 0.1 mg/kg で 1 日 2 併行、5 日間の添加回収試験を行い、性能を評価した。その結果、真度 97～105%、併行精度及び室内精度 6% 未満となったことから、本分析法は十分な精確さをもって分析を行うことが可能であり、実態調査に用いることが妥当と考えられた。

2. 昆虫食試料の分析

マイクロ波分解/ICP-MS 法を用いて 23-001～23-007 及び 23-009 のカドミウム、鉛及びヒ素濃度を分析した。

カドミウム濃度は 0.01～0.14 mg/kg となり、最も高い値を示したのは 23-002 (ミルワーム) であった。我が国では、玄米及び精米に基準値「カドミウムとして 0.4 mg/kg」(平成 22 年 4 月 8 日、食安発 0408 第 2 号) が設定されているが、いずれの試料も玄米及び精米の基準値を下回っていた。

鉛濃度は 0.01～0.19 mg/kg となり、最も高い値を示したのは、23-007 (コガタスズメバチ) であった。コガタスズメバチは主に昆虫を餌とするため、捕食した昆虫に由来するものと推測された。我が国では農産物に 1～5 mg/kg の基準値が設定されているが、いずれの試料もこれらの基準値を下回っていた。

総ヒ素濃度は 0.02～1.32 mg/kg となり、23-001 (カイコ) 及び 23-004 (ヨーロッパイエコオロギ) ではそれぞれ 0.86 mg/kg 及び 1.32 mg/kg であった。一般に、食品に含まれるアルセノベタイン等の有機ヒ素化合物よりも無機ヒ素化合物の方が毒性が高いとされているため、23-001 及び 23-004 の無機ヒ素濃度を分析した。その結果、23-004 では定量限界 (0.1 mg/kg) 未満となり、大部分が有機ヒ素であることが示された。一方、23-001 は 0.5 mg/kg となり、無機ヒ素濃度が高かった。23-001 は乾燥試料であることから、乾燥工程で原材料に含まれていたヒ素が濃縮されたものと考えられた。我が国では食品中の無機ヒ素に基準値は設定されていないが、CODEX では玄米及び精米に対してそれぞれ 0.35 mg/kg 及び 0.2 mg/kg の基準値が設定されており、23-001 はこれらより高い値であった。しかし、カイコの摂取量は玄米や精米と比べて圧倒的に少ない

と考えられることから、早急な対策を講じる必要はないと考えられる。

II. 有害元素(水銀)

1. 性能評価

加熱気化型水銀分析計による総水銀分析法の昆虫食試料への適用性を検討した。23-005 を添加回収試験用の試料として選択し、添加濃度 0.005 及び 0.2 mg/kg で 1 日 2 併行、5 日間の添加回収試験を行って分析法の性能を評価した。その結果、真度 97～104%、併行精度<3%、室内精度<4%となった。本分析法は十分な精確さをもって分析を行うことが可能であり、実態調査に用いることが妥当と考えられた。

2. 昆虫食試料の分析

試料 23-001～23-007 及び 23-009 の総水銀を分析した。その結果、23-004 は 0.18 mg/kg であったが、その他の試料は 0.015 mg/kg 未満であった。いずれの試料も、魚介類に設定されている暫定的規制値「総水銀として 0.4 mg/kg」(昭和 48 年厚生省環乳第九九号)を下回っていることが確認された。水銀のうち、メチル水銀は魚介類に多く含まれ、妊娠中の女性が多く摂取すると胎児の脳神経系に影響を与えることが知られているため、23-004 のメチル水銀濃度を分析した。その結果、0.08 mg/kg となり、魚介類に設定されている暫定的規制値「メチル水銀(水銀として)0.3 mg/kg」(昭和 48 年厚生省環乳第九九号)を下回っていることが確認された。当該試料が他の試料と比較し、総水銀濃度が高値となった原因を明らかにするためには昆虫に与えた飼料についての情報が必要であるが、飼料についての情報は今回得られなかった。

III. 農薬

1. 分析法の検討

抽出方法、脱脂方法及びミニカラムによる精製

方法を検討し、アセトンで抽出後、多孔性ケイソウ土カラムで脱脂し、3 種の充填剤(ODS、PSA 及び SAX)を混合したミニカラム(GC-MS/MS 法はアルミナが積層されたミニカラム)で精製して LC-MS/MS または GC-MS/MS で測定する方法を確立した。

2. 妥当性評価

試料 23-003 を用いて添加濃度 0.01 ppm で 1 日 2 併行、5 日間の妥当性評価試験を行った。その結果、LC-MS/MS 対象農薬では 144 化合物中 135 化合物、GC-MS/MS 対象農薬では 141 化合物中 134 化合物で「食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドラインについて」(妥当性評価ガイドライン)の真度、精度及び選択性の目標値を満たした。

3. 昆虫食試料の分析

試料 23-001～23-007 及び 23-009 を分析した結果、23-001 において ametryn (0.05 mg/kg) 及び chlorofenapyr (0.04 mg/kg) が 0.01 mg/kg 以上検出された。昆虫食には農薬の基準値は設定されていないため、(原材料に)一律基準 0.01 mg/kg が適用される。しかし、23-001 は乾燥品であり、原材料の水分含量の情報がないため、一律基準を超過しているか否かは不明である。

IV. ダイオキシン類

1. 前処理法の検討

昆虫食試料の前処理方法として、ダイオキシン類測定方法ガイドラインに準じて当所で従来から実施している試験溶液調製方法(従来法)の適用性を検討した。従来法を昆虫食試料に適用した場合、アルカリ分解やヘキサン抽出操作において、昆虫の外骨格などの不溶物が操作の妨げになることが懸念されたため、従来法を昆虫食試料に適用する際の操作性を確認した。

各試料を水酸化カリウム水溶液で 16 時間分解した。その結果、液面に一部昆虫の外骨格の不溶物が浮いているものの、水酸化カリウム溶液の用量と処理時間は問題ないことが確認された。なお、昆虫の外骨格はダイオキシン類を含む可能性が低いと、アルカリ分解時に不溶でも、昆虫食中のダイオキシン類の濃度調査に影響を及ぼさないと考えられた。一方で、ヘキサンで抽出した際には、微細化されたパウダー状の試料であるヨーロッパイエコオロギにおいて、ヘキサン層と水層の境界が見えにくくなることが認められた。そこで、細心の注意を払い、水層を除去した後、塩化ナトリウム水溶液での洗浄時に少量の硫酸を加えたところ、エマルションが消えてヘキサン層と水層を明確に分離することができた。また、3 種類の昆虫食試料とも、ヘキサン抽出の過程において、不溶物が分液ロートの活栓に詰まりやすいことが認められたものの、操作全体に大きな支障がないことを確認した。以上の検討から、従来法は昆虫食試料に対しても適用可能と考えられた。

2. 従来法適用時の添加回収試験

2-1. 添加回収試験用試料の選定

添加回収試験に用いる昆虫食試料を選定するため、3 種類の昆虫食試料中のダイオキシン類濃度（バックグラウンド）を測定した。その結果、各異性体の濃度範囲は、シルクワームサナギで 0.023～16 pg/g、ミルワームで 0.017～5.0 pg/g、ヨーロッパイエコオロギで 0.014～106 pg/g であった。総ダイオキシン濃度は、シルクワームサナギで 42 pg/g、ミルワームで 11 pg/g、ヨーロッパイエコオロギで 270 pg/g であり、この 3 種類の昆虫食試料の中ではミルワームの総ダイオキシン濃度が最も低いことが確認された。本検討から、添加回収試験にはダイ

オキシン類のバックグラウンド濃度が最も低かったミルワーム試料を用いることとした。

2-2. 添加回収試験

昆虫食試料に対する従来法の妥当性を検証するため、添加回収試験を実施した。ダイオキシン類の各異性体の添加濃度は、バックグラウンドの 5～10 倍程度となるようにダイオキシン類測定方法ガイドラインの目標検出下限濃度の 10 倍とした（ただし、一部の異性体ではバックグラウンド濃度の 5 倍未満となっている。）。その結果、各異性体の平均添加回収率は 84.1%～111.9%、RSD は 1.9%～13.3% の範囲であった。農林水産省が策定した「分析法の妥当性確認に関するガイドライン」により、分析対象物質の濃度が 0.001 mg/kg 以下の場合には、食品中に含まれる化学物質の分析に求められる回収率は 40%～120%と定められている。従来法を用いた添加回収試験で得られた回収率はその範囲内にあり、昆虫食試料のダイオキシン類分析法として従来法が適用可能であることが確認された。

課題 2 微生物・マイコキシンの汚染実態調査及びリスク評価

[1] 結果

1. 微生物培養法

各昆虫食製品の cfu を算出した結果、一般細菌数はミルワームで最も多く 1.2×10^8 cfu/g、ツムギアリで非検出であった。昆虫食では、製品毎に生菌数に大きな差があり、真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。

PGY 培地、PCA 培地、VRBG 培地およびチオグリコレート寒天培地で分離した細菌 242 株の同定を行った。今回の調査では 5 製品から食中毒と関連のある大腸菌群が検出された。また、

Staphylococcus 属菌は PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 36.4%を占めており、*Bacillus* 属菌は PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 10.0%を占めていた。PGY 培地で検出された個々の検体における細菌叢では、ヨーロッパエコオロギ1製品で *Bacillus* 属菌が、カイコ1製品で *Staphylococcus* 属菌が 100%を占めており高率に検出された。一部の製品からは、16S rDNA 塩基配列の相同性を指標とした範囲で *Staphylococcus aureus* (黄色ブドウ球菌) および *Bacillus cereus* (セレウス菌) と推定される菌株が単離された。大腸菌群は、PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 13.2%を占めていたが、多くは食中毒事例の無い大腸菌群の属であった。しかし中には食中毒事例のある大腸菌群として、16S rDNA 部分塩基配列の相同性検索結果に基づく範囲で *Cronobacter sakazakii*、*Enterobacter cloacae* および *Escherichia coli* と推定される菌株が検出された。食中毒事例のあるこれらの種の細菌類を含めた大腸菌群は、健康なヒトや動物の腸管内や土壌等環境中に広く分布することが知られ、通常、農作物や畜産物から検出されることもあり、これらの食品と同等の結果であると言える。

DG-18 培地および DRBC 培地で単離した真菌 78 株の rDNA 部分塩基配列に基づいた同定を行った。今回検出された酵母は単離された真菌全体の 72%を占めた。また、マイコトキシン産生菌種を含む *Aspergillus* 属、*Penicillium* 属 および *Fusarium* 属はミルワームやコガタスズメバチから計 4 株検出された。これらの分離株を種レベルまで同定した結果、*Aspergillus chevalieri*、*Fusarium oxysporum*、*Penicillium spinulosum* および *Penicillium olsowii* と同定され、これらは毒性の強いマイコトキシン産生性は知られていない菌種で

あることを把握した。

2. 質量分析法によるマイコトキシン検出法

食用昆虫 8 検体と精米について、アフラトキシン 4 種:それぞれ 2.5 µg/kg、DON:500 µg/kg、OTA:5 µg/kg、ZEN:50 µg/kg となるよう標準品を添加した試料から、マイコトキシンの抽出を行った。抽出液をイムノアフィニティーカラムで精製後、LC-MS/MS により 7 種のマイコトキシンを一斉に定量し、回収率を算出した。食用昆虫 8 試料における AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂、DON、OTA および ZEN の回収率は、それぞれ 39~60%、41~58%、26~57%、23~54%、72~103%、48~78%および 47~78%の範囲内であった。

3. リアルタイム PCR 法による寄生虫検出法

多くの検体で、クリプトスポリジウム、ジアルジアともに検出限界は 2×10^2 copy/25 mg 検体であった。23-003 および 23-007 のクリプトスポリジウムの検出限界は 2×10^3 copy/25 mg 検体であった。23-004 のクリプトスポリジウムの検出感度は 2×10^4 copy/25 mg 検体であった。

[2] 考察

真菌および細菌の検出結果については、昆虫食製品毎に生菌数には大きな違いがあること、また真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。さらに、真菌では酵母、細菌では大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌が多く分布していたことが明らかとなった。これらには食中毒の原因となり得る菌種も含まれるが、環境中に普遍的に存在する微生物であり、他の食品からも検出される事例は多いことから、それらと比べて特段昆虫食で注意が必要という状況ではなく、昆虫食の喫食による細菌性食中毒防止のために、他の食品同様に、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理の重要性が示唆

された。次年度以降は、食中毒関連菌として、真菌では *Aspergillus* 属、*Penicillium* 属および *Fusarium* 属菌、細菌では大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌に着目し、汚染実態調査を実施する予定である。

マイコトキシンの検出法については、Codex の Procedural Manual における回収率のクライテリアは、分析対象の濃度が 10 µg/kg で 60～115%、100 µg/kg～10 mg/kg で 80～110%とされている。アフラトキシン 4 種と OTA については 10 µg/kg のクライテリアを参考にすると、アフラトキシン 4 種では 8 試料全てで、OTA では 3 試料で回収率下限を下回った。DON と ZEN については 100 µg/kg～10 mg/kg のクライテリアを参考にすると、DON では 2 試料で、ZEN では 8 試料全てで回収率の下限を下回った。一方で、精米においては 7 種のマイコトキシンの回収率はクライテリアの範囲内に収まった。今回精製に用いたイムノアフィニティーカラムの適用は、穀類、ナッツ、飼料となっている。食用昆虫には一般的な穀類や飼料とは異なる夾雑物質が含まれており、それらがマイコトキシンと抗体の結合を阻害した可能性などが考えられた。定量限界値については、各マイコトキシンの規制値又は基準値{総アフラトキシン:10 µg/kg、DON:1 mg/kg、OTA (Codex 規格):5 µg/kg}と比較すると十分に小さいことから、回収率が 20～60%であったとしても法律上問題となるレベルのマイコトキシンが混入しているかどうかは判断できる。これらのことから、今回開発した分析法は、アフラトキシン類や ZEN について十分な回収率が得られなかったが、DON と OTA については比較的良好であると言え、7 種のマイコトキシンを一斉に検出可能である利点を活かした食用昆虫におけるマイコトキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。次年度以降

はこの一斉分析法を用い、食用昆虫におけるマイコトキシンの汚染実態調査する予定である。

寄生虫の検出法については、今回は、市販キットを用い昆虫食中のクリプトスポリジウムとジアルジア DNA の検出を試みた。両キットとも水中の寄生虫の検出用であったが、昆虫食のように非常に多くの夾雑物を含む検体からも、寄生虫 DNA を高感度に検出することができた。クリプトスポリジウムは、検出限界 2×10^2 コピー/25 mg～ 2×10^4 コピー/25 mg で検出することができた。ジアルジアは、 2×10^2 コピー/25 mg～ 2×10^3 コピー/25 mg で検出することができた。クリプトスポリジウム1オーシストのコピー数は約 18,000 であり、ジアルジアのシスト1個あたりのコピー数は約 1,600 であると考えられている。これらのことから、今回の方法では理論上、クリプトスポリジウムは検体 25 mg あたり 0.01～1.3 個(1 g あたり 0.4～52 個)のオーシストを検出することができると考えられた。ジアルジアは、検体 25 mg あたり 0.13 個～1.25 個(1 g あたり 5.2 個～52 個)のシストを検出することができると考えられた。次年度以降は、サンプリングプランを作成し、本検査法を用いて、昆虫食中のクリプトスポリジウムとジアルジアの汚染状況を調査したい。また、本研究で対象とした他の寄生虫の検査法を確立する予定である。

課題 3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討

[1] 結果

甲殻類アレルゲンと昆虫アレルゲンとの間には交差反応性が見られることが知られている。また、わが国の食品表示制度における「アレルゲンを含む食品の表示」では、甲殻類であるえび及びかにが義務表示品目に指定されており、その表示を検証するためのスクリーニング検査法として 2 種類の ELISA キット(S キット及び M キット)が指定されて

いる。これら 2 種類の ELISA キットでは、甲殻類の主要アレルゲンであるトロポミオシンに対するモノクローナル抗体及びポリクローナル抗体が使用されている。従って、これらの甲殻類 ELISA キットに対して反応性を示す昆虫食製品は、甲殻類アレルギー患者のトロポミオシンに対する IgE 抗体に結合しアレルギー症状を誘発する可能性が考えられる。そこで、これらの甲殻類 ELISA キットに対する各検体の反応性を検討した。その際、昆虫が含有するプロテアーゼによるタンパク質分解の可能性を考慮し、検体からのタンパク質抽出に関しては、キット取扱説明書に記載されている通常の方法(室温で一晩(12 時間以上)振とう)に加えて、プロテアーゼ阻害剤を添加する方法、及び、加熱抽出法(100℃、30 分)も合わせて検討した。加熱抽出法は、プロテアーゼを多く含有する非加熱のえび・かにを検体とする際に推奨されている方法である。

S キットでは全ての検体で反応が見られた。一方 M キットでは S キットと比較して反応性が低かった。検体からのタンパク質抽出に関してプロテアーゼ阻害剤の効果は特に見られなかった。一方、加熱抽出の場合、他の抽出方法と比較して大きな測定値が得られた。

そこで、検体からのタンパク質抽出方法として加熱抽出法を採用し、ELISA キットにおける測定結果の再現性について検討した。その結果、SD の大きな検体もあったが、S キット、M キットともに測定結果の再現性が確認された。検体の種類や加工工程における加熱／非加熱との相関は特に見られなかった。

[2] 考察

本研究では、甲殻類アレルゲンと昆虫アレルゲンの交差反応性の 1 つの指標として、甲殻類の主要アレルゲンであるトロポミオシンに対する抗体を

用いた ELISA キットにおける昆虫食検体の反応性について検討した。12 種類の市販の昆虫食製品について検討したところ、どの検体においても甲殻類 ELISA キットにおける反応性が確認されたことから、これらの製品が甲殻類アレルギー患者においてアレルギー症状を誘発する可能性があることが示された。

使用した 2 種類の ELISA キットを比較したところ、S キットの方が M キットよりも大きな測定値が得られた。これは、筆者らが以前報告した、甲殻類 ELISA キットにおける蜂の子及び蟻を原材料とする健康食品の反応性の検討結果と同様であり、2 種類の ELISA キットで使用されている抗体の特性の違いによるものと考えられる。

検体からのタンパク質抽出において、プロテアーゼ阻害剤の効果は特に見られなかったことから、今回使用した検体に関してはプロテアーゼの影響を特に考慮する必要はないと考えられた。一方、加熱抽出を行った場合に甲殻類 ELISA キットでの測定値が最も大きかった。トロポミオシンは線維状のアクチン結合タンパク質であり、2 本の α ヘリックスからなるコイルドコイル構造をとっている。これまでに、加熱によって、 α ヘリックスがほどける、溶解性が増大する等の報告があることから、加熱抽出ではトロポミオシンの溶解性の増大が ELISA 測定値の増大につながったのではないかと考えられる。

今後は、甲殻類アレルギー患者血清を使用してウェスタンブロッティングやヒト化培養マスト細胞活性化試験等を実施し、昆虫食によりアレルギー症状が誘発される可能性について検討を進めるとともに、加熱等の加工によるアレルゲン性の変化についても解析を行う予定である。

課題 4 諸外国の規制等の文献調査

1) 資料 1 に最近の世界各国の食品安全担当

機関やリスク評価担当機関による昆虫食関連の発表についてまとめた。

EU の他に韓国で制度の整備が進んでいる。これらの国はもともと昆虫食だけではなく、新規食品についての制度をもっていたため、そこに昆虫が加わった形になっている。

2) 資料 2 と 3 は昆虫食の販売にあたって、リスク評価機関やリスク管理機関がどのような情報を検討したのかの概要を評価書と書籍から抜き出したものである。基本的には HACCP の考え方に則って、考えられるハザードをできるだけ網羅し、それを実際の製品との関係で検討している。未知の部分が多いため、リストアップされている、昆虫に存在する可能性のある微生物等は膨大な数になる。検査の結果不検出になる、というデータが蓄積されていけば検査項目は将来減らせるかもしれないが現時点では網羅的に確認していくしかないと思われる。参考までに資料 4 として昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム

(iBPF) によるコオロギ生産ガイドラインのチェックリストを掲載した。これは HP の説明によると「食品又は飼料の原料として利用することを想定したコオロギの生産過程における安全性を確保し、もって、食品又は飼料としてのコオロギに対する消費者の信頼を築くことを目的として作成」したもので、「生産者自らが、生産工程で想定される危害要因

(生産物等の散逸、有害化学物質による汚染、病害虫の発生、異物の混入等) について、管理すべき項目を決定し、管理方法を定めた上でこれを実践・記録し、更にこれを点検・評価して改善点を見出し、逐次生産の改善に活用する上での有用な基準を提供する」ためのものとのことである (https://www.knsk-osaka.jp/ibpf/guideline/cricket_guideline.html)。

ただし資料 2 と 3 に比べると明らかなように、具体的なハザードの可能性がある物質や項目およびその管理目標などの記述はなく実用性には疑問がある。厚生労働省が小規模事業者のための参考として提供している

「HACCP の考え方を取り入れた衛生管理のための手引書

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000179028_00003.html」の数々では製品ごとに管理すべきハザードとその管理方法、目標となる指標のチェック表や逸脱があった場合の対処法などを記載しており、実際に現場で使うことを想定していてどのレベルの安全性を目指しているのかは明らかである。

3) 昆虫食の安全性に関する文献として以下を今後要検討と同定した。①及び②は中国における昆虫食の安全性評価に関するもので、1)において中国の情報はカバーしていないことから参考になる可能性がある。ただし引用文献の多くが中国語で記載された中国国内文献であるため今年度は要検討に留まる。③は国内でのアレルギー症例で、昆虫に感作されている自覚がなくコオロギせんべいを初めて食べてアレルギー反応を経験したもので、昆虫食がより広まればこのような事例も増加すると予想されるため、注視していく必要があるだろう。

①A review on edible insects in China: Nutritional supply, environmental benefits, and potential applications, Xueying Lin et al., Curr. Res. Food Sci., 7, 100596 (2023).

②Toxicological characteristics of edible insects in China: A historical review, Yu Gao et al., Food Chem. Toxicol., 119, 237-251 (2018).

③食用コオロギ摂取によりアレルギー症状を呈した幼児例, 蓑島宗夫, 徳永舞, 小池由美, 伊藤靖典, アレルギー, 72(10) 1258-1262 (2023)

D. 結論

課題 1 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向けて、有害元素、ダイオキシン類及び農薬の分析法を検討した。

有害元素の分析法として、マイクロ波分解/ICP-MS 法を用いたカドミウム、鉛及びヒ素分析法及び加熱気化型水銀分析計を用いた総水銀分析法の昆虫食への適用性を検討した。分析法の性能を評価したところ、いずれも良好な結果が得られ、実態調査のための分析法として妥当であることが示された。

昆虫食を対象とした新規農薬分析法として、LC-MS/MS 及び GC-MS/MS を用いた農薬一斉分析法を開発した。妥当性評価試験を行ったところ、285 化合物中 269 化合物で妥当性評価ガイドラインの目標値を満たし、一部の農薬を除き、実態調査のための分析法として妥当と考えられた。

ダイオキシン類分析法として、従来から当所で使用している分析法(従来法)の昆虫食に対する適用性を検討した。その結果、前処理の操作性に大きな問題はないことが確認された。添加回収試験においても良好な結果が得られたことから、従来法は昆虫食のダイオキシン類分析法として適用可能であることが示された。

来年度以降は、本年度確立した分析法を用いて国内に流通する昆虫食の汚染実態調査を行う予定である。

課題 2 微生物・マイコキシンの汚染実態調査及びリスク評価

今回の調査では、昆虫食製品からは動物の腸内や土壌等環境中に広く存在する細菌群および酵母群が多く分布したことが示されたが、それらは他の食品からも検出される事例は多いことから、特段昆虫食で注意が必要という状況ではなく、他の食品同様に、一部の食中毒菌の汚染リスクに留意し、昆虫食の喫食による食中毒を防ぐため、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理が重要であることが示唆された。また、昆虫食分析に適用するため、日本において規制が行われているマイコキシン分析法としてイムノアフィニティーカラムによる精製法と LC-MS/MS による検出法を組み合わせた 7 種のマイコキシンの一斉分析法の性能評価を行った結果、本法は一斉に検出可能である利点を活かし、食用昆虫におけるマイコキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。さらに、市販キットを用いて、昆虫食からクリプトスポリジウムとジアルジア検出法の性能評価を行った結果、本法は昆虫食からこれらの原虫を低濃度でも検出することが可能であった。次年度は、本研究で確立した試験法を用いて、昆虫食製品から微生物およびマイコキシンの汚染実態調査を実施する予定である。

課題 3 昆虫食のアレルゲン性に関する検討

甲殻類の主要アレルゲンはトロポミオシンであり、昆虫類トロポミオシンと交差反応することから、昆虫食は甲殻類アレルギー患者にアレルギー症状を誘発する可能性がある。そこで、甲殻類トロポミオシンを特異的に認識する抗体を用い、国内で流通している昆虫食に含まれるタンパク質の中に抗体が認識するタンパク質が存在するかを検証した。

甲殻類トロポミオシン特異的抗体を構成試薬とする甲殻類 ELISA キットを用い実施したところ、12 種類の市販昆虫食製品すべてから、トロポミオシン抗体が反応するタンパク質が検出され、評価した昆虫食にはトロポミオシン様タンパク質が含まれていることが示唆された。また、非加熱の製品に比べ、加熱加工処理による抗原性の低下は認められなかったほか、昆虫タンパク質を抽出する際、加熱抽出法を採用することで昆虫トロポミオシンを感度よく検出できる傾向が観察された。本研究により得られた昆虫食の交差反応性に関する検討結果は、甲殻類アレルギー患者の健康被害の防止につながる知見となると考えられる。今後、臨床学的にアレルゲンが与える影響について、さらなる科学的根拠を集積することが必要である。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 志田(齊藤)静夏:残留農薬検査における課題と展望－検査部位の国際整合化、試料調製法及び抽出法－、第 21 回食品安全フォーラム(令和 5 年 12 月 8 日、東京)
- 2) 廣田珠実、渡辺麻衣子、清水公德、工藤由起子、志田(齊藤)静夏:国内流通昆虫食における微生物分布実態調査、日本マイコキシン学会第 90 回学術講演会(令和 6 年 1 月 10 日、東京)
- 3) 安達玲子、爲廣紀正、甲斐明美、吉田健介、亀山浩、柴田識人、近藤一成:「特定原材料くるみに対する特異的定量及び定性検査法の妥当性評

価」、日本食品衛生学会第 119 回学術講演会(令和 5 年 10 月 12-13 日、東京)

4) 畝山智香子:新規食品の安全性確保、日本食品科学工学会 70 周年記念シンポジウム(令和 5 年 8 月 24 日、京都)

5) 畝山智香子:ほんとうの食の安全を考える－最適な品質管理のための基礎－、食品品質保持研究会(令和 5 年 12 月 19 日、東京)

6) 畝山智香子:新規食品の安全性確保、日本分析化学会 表示・起源分析技術研究懇談会フードテック(ゲノム編集、培養肉、昆虫食、微細藻類)の最新動向について(令和 5 年 12 月 22 日、東京)

G. 知的財産権の出願・登録状況
なし

表 1 本研究で用いた昆虫食

No.	昆虫	原産国	パウダー/姿	乾燥/冷凍	加熱の有無
23-001	カイコ(さなぎ、まゆ無し)	タイ	姿	乾燥	加熱
23-002	ミルワーム	タイ	姿	乾燥	加熱
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	タイ	パウダー	乾燥	加熱
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	日本	姿	冷凍	非加熱
23-005	カイコ(幼虫)	日本	姿	冷凍	非加熱
23-006	ジャイアントミルワーム	日本	姿	冷凍	非加熱
23-007	コガタスズメバチ	日本	姿	冷凍	非加熱
23-008	ツムギアリ	タイ	姿	乾燥	加熱
23-009	ツムギアリ	タイ	姿	冷凍	非加熱
23-010	キイロスズメバチ(幼虫)	日本	姿	冷凍	非加熱
23-011	ワタリバッタ	タイ	パウダー	乾燥	加熱
23-012	スパースローテッド・グラスホッパー (ノドバッタ)	タイ	姿	冷凍	非加熱
in02	ミルワーム	タイ	姿	冷凍	非加熱
in03	フタホシコオロギ	タイ	姿	冷凍	非加熱
in04	カイコ(幼虫)	日本	姿	冷凍	非加熱
in05	モンクロシャチホコ	日本	姿	冷凍	非加熱

Ⅱ．分担研究報告

課題1．有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

研究分担者 志田(齊藤)静夏

課題1. 有害化学物質の分析法開発及び汚染実態調査

研究分担者 志田(齊藤)静夏 国立医薬品食品衛生研究所 食品部第三室長

研究要旨

昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向けて、有害元素、農薬及びダイオキシン類の分析法を検討した。

[1] 有害元素分析法

マイクロ波分解/誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)法を用いたカドミウム、鉛及びヒ素分析法及び加熱気化型水銀分析計を用いた総水銀分析法の昆虫食への適用性を検討した。カドミウム、鉛及びヒ素分析法の性能を評価(添加濃度 0.1 mg/kg)した結果、真度 97~105%、併行精度及び室内精度 6%未満となった。また、総水銀分析法の性能を評価(添加濃度 0.005 及び 0.2 mg/kg)した結果、真度 97~104%、併行精度及び室内精度 4%未満となった。これらの結果から、いずれも実態調査のための分析法として妥当であることが示された。

[2] 農薬分析法

昆虫食を対象とした新規農薬分析法として、LC-MS/MS 及び GC-MS/MS を用いた農薬一斉分析法を開発した。本法はアセトンで抽出後、多孔性ケイソウ土カラムで脱脂し、3 種の充填剤(オクタデシルシリル化シリカゲル(ODS)、エチレンジアミン-*N*-プロピルシリル化シリカゲル(PSA)及びトリメチルアミノプロピルシリル化シリカゲル(SAX))を混合したミニカラム(GC-MS/MS 法はアルミナが積層されたミニカラム)で精製して LC-MS/MS または GC-MS/MS で測定する方法である。添加濃度 0.01 mg/kg で妥当性評価試験を行った結果、LC-MS/MS 法は 144 化合物中 135 化合物、GC-MS/MS 法は 141 化合物中 134 化合物で妥当性評価ガイドラインの真度、精度及び選択性の目標値を満たした。これらの結果から、一部の農薬を除き、昆虫食の汚染実態調査のための分析法として妥当と考えられた。

[3] ダイオキシン類分析法

従来から当所で使用している分析法(従来法)の昆虫食に対する適用性を検討した。その結果、前処理の操作性に大きな問題はなかった。また、世界保健機関(WHO)が毒性係数(TEF)を定めた PCDDs 7 種、PCDFs 10 種及び Co-PCBs 12 種について添加回収試験を行ったところ、回収率 84.1~111.9%、併行精度 1.9~13.3%の良好な結果が得られた。これらの結果から、従来法は昆虫食のダイオキシン類分析法として適用可能であることが確認された。

研究協力者

鍋師裕美(国立医薬品食品衛生研究所食品部第二室長)

鈴木美成(国立医薬品食品衛生研究所食品部第四室長)

田口貴章(国立医薬品食品衛生研究所食品部第一室長)

堤 智昭(国立医薬品食品衛生研究所食品部長)

張 天斉(国立医薬品食品衛生研究所食品部研究員)

高附 巧(国立医薬品食品衛生研究所食品部主任研究官)

齋藤真希(国立医薬品食品衛生研究所食品部非常勤職員)

武村奈穂(国立医薬品食品衛生研究所食品部非常勤職員)

A. 研究目的

国際連合食糧農業機関(FAO)は 2013 年に報告書「Edible insects: future prospects for food and feed security」を発表し、昆虫はタンパク質やミネラル等の栄養成分が豊富であること、牛や豚等よりも飼料変換効率がよく、環境への負荷を抑制できることから、人口増加による食糧不足の解決の一助となる可能性を示した。この報告書が発表されて以降、養殖昆虫は食糧源や飼料源として注目されており、世界各国で昆虫の養殖や食料化、飼料化に関する研究が行われている。一方で、FAO は報告書「Looking at edible insects from a food safety perspective」(2021 年)の中で、昆虫の養殖や加工において十分管理が行われなければ、有害化学物質や微生物等に汚染する可能性があることと安全性への懸念も示している。昆虫の養殖では、食品廃棄物や農業廃棄物等が飼料として用いられる場合があるが、飼料が有害化学物質や微生物等に汚染されていた場合、飼料を介して昆虫が汚染し、昆虫種/汚染物質によっては蓄積する可能性がある。昆虫は個体が小さいこと、牛や豚等とは異なり、丸ごと摂取されることから、収穫後に汚染物質を除去することは困難である。このようなことから、EU 等の諸外国では昆虫食の安全性評価が進められている。一方、我が国ではほとんど調査研究が行われておらず、昆虫食の安全性に関する科学的知見は限られている。そこで本研究課題では、国内に流通する昆虫食を対象に有害化学物質(有害

元素、農薬及びダイオキシン類)の汚染実態を調査し、昆虫食の喫食による健康危害リスクについて考察することを目的とした。本年度(1年目)は、昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向け、昆虫食を対象とした有害元素(カドミウム、鉛、ヒ素及び水銀)、農薬及びダイオキシン類分析法を検討した。

B. 研究方法

[1] 検体

有害元素及び農薬の分析法の検討にはインターネットを介して購入した昆虫食 8 製品(23-001～23-007 及び 23-009)を用いた(表 1)。ダイオキシン類の分析法の検討には 3 製品(23-001～23-003)を用いた。

[2] 試料調製

パウダー製品であった 23-003 はそのまま分析に用いた。その他の検体は有姿状態で販売されていたため、粉碎装置 GM200 及び GM300(いずれも Verder Scientific 製)を用いて試料調製(均質化)したものを分析に用いた。なお、回転刃はチタンコーティングされたもの、容器はポリカーボネート製のものを使用した。調製した試料は分析まで-30℃で保管した。

[3] 水分及び脂質含量の測定

各試料中の水分は、水分計 MOC63u(島津製作所製)を用いて測定した。

脂質含量は一般財団法人日本食品分析センターに委託し、ソックスレー抽出法により測定した。

[4] 分析法の検討

I. 有害元素(カドミウム、鉛及びヒ素)

カドミウム(Cd)、鉛(Pb)及びヒ素(As)の分析は以下のように行った。なお、内部標準元素にはインジウム(In)及びタリウム(Tl)を用いた。

1. 試薬及び試液

超純水は、Milli Q Element A10(Merck 製)により製造したもの(比抵抗 18.2 MΩ·cm)を使用した。硝酸(1.42 Ultrapur-100)、過酸化水素水(Ultrapure)は関東化学製を用いた。

混合標準溶液は西進商事製 XSTC-622(10 mg/L)を使用した。インジウム(In)及びタリウム(Tl)の標準原液はシグマアルドリッチ製の Trace CERT ICP 用を用いた。

インジウム(In)及びタリウム(Tl)混合内部標準溶液は、インジウム及びタリウムの濃度がそれぞれ 10 及び 0.5 mg/L になるように、各標準原液から適量分取し、硝酸 20 mL を加えた後、水で 200 mL に定容したものを用いた。

2. 装置

マイクロ波試料前処理装置は ETHOS One (Milestone 製)を使用した。ICP-MS 装置は iCAP Q(Thermo Fisher Scientific 社製)を使用した。

3. 分析法

分析用試料 0.50 g を石英製分解容器に量り採り、硝酸 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた。水 5 mL 及び過酸化水素水 2 mL を加えた TFM(変性ポリテトラフルオロエチレン)製分解容器に前述の石英製分解容器を入れ、マイクロ波試料前処理装置により分解した。分解は次の条件で行った。70℃ 2 分間→50℃ 1 分間→20 分間で 200℃まで昇温し、200℃で 10 分間保持(総分解時間: 33 分間)

分解後の溶液に混合内部標準溶液 0.5 mL を添加後、水で 50 mL に定容し、ICP-MS により測定した。なお、分解容器を開封して希釈する作業は HEPA(High Efficiency Particulate Air)フィルター

搭載のクリーンブース[集塵効率(0.3 μm 粒子): 99.97%以上]内で行った。

ICP-MS の測定条件は以下の通りである。なお、ICP-MS 測定に係る非金属性の容器・器具は約 5 mol/L の硝酸に 1 日以上浸漬させた後、超純水でよく濯ぎ、HEPA フィルター搭載のクリーンブース内で乾燥させたものを用いた。

スプレーチャンバー:サイクロン型

コリジョンガス: ヘリウム(99.9999%)、4.9 mL/min

測定モード: KED (Kinetic Energy Discrimination:運動エネルギー弁別)モード

積分時間(s): 0.1 (Cd、Pb、Tl) 0.3 (As、In)

チャンネル数: 1

スペース(u): 0.1

掃引数(回): 10

繰り返し回数: 3 回

分析対象元素の測定質量電荷比 ^{75}As 、 ^{111}Cd 、 ^{208}Pb

内部標準元素の測定質量電荷比 ^{115}In (Cd、As)、 ^{205}Tl (Pb)

4. 性能評価

試料 23-009 を用いて、添加濃度 0.1 mg/kg で分析法の性能を評価した。無添加試料及び添加試料を 1 日 2 併行、5 日間分析し、各性能パラメータを求めた。なお、用いた試料(23-009)に各元素が含まれていたため、無添加試料から得られた測定値の平均値を、対応する個々の添加試料から得られた測定値から差し引いて測定結果を算出した。

5. 無機ヒ素の分析

無機ヒ素は一般財団法人日本食品分析センターに委託して分析を行った。

II. 有害元素(水銀)

1. 試薬及び試液

硝酸(1.42 Ultrapur-100)及びL-システインはナカライテクス製を用いた。超純水は Milli Q Element A10(Merck 製)により製造したもの(比抵抗 18.2 MΩ·cm)を使用した。原子吸光分析用 1000 mg/L 水銀標準原液は関東化学製のものを用いた。

100 mg/L L-システイン溶液は、L-システイン 100 mg を量り採り、水 800 mL 及び硝酸 2 mL を加え溶解後、水で 1000 mL に定容して調製した。

2. 総水銀の分析

総水銀は加熱気化型水銀分析計 MA-3000(日本インスツルメンツ製)を用いて測定した。試料 100 mg をセラミック製サンプルボード(日本インスツルメンツ製)に精密に量り採り、測定に供した。水銀濃度が 0.01 mg/kg 未満の試料及び標準溶液の測定には低濃度用の吸光セル、0.01 mg/kg 以上の測定には高濃度用の吸光セルを用いた。試料は 150℃で 1 分乾燥後、250℃で 10 分間加熱し、さらに 800℃で 2 分間加熱した。検量線用標準溶液は 150℃で 1 分乾燥後、800℃で 2 分間加熱した。なお、サンプルボードは、約 5 mol/L 硝酸に 12 時間以上浸け置きした後、水でよくすすぎ、使用する直前に 750℃で 3 時間加熱した。これを冷却後、加熱気化型水銀分析計により 850℃で 4 分間再加熱したものを使用した。

水銀標準原液を 100 mg/L L-システイン溶液で適宜希釈し、検量線用標準溶液とした。各検量線用標準溶液中の水銀量は、検体の濃度に応じて 0.025~1 ng の 8 点または 0.5~30 ng の 8 点とした。

3. 性能評価

試料 23-005 を用いて、添加濃度 0.005 及び 0.2 mg/kg で分析法の性能を評価した。無添加試料及び添加試料を 1 日 2 併行、5 日間分析し、各性能パラメータを求めた。なお、用いた試料(23-005)に水銀が含まれていたため、無添加試料から得られ

た測定値の平均値を、対応する個々の添加試料から得られた測定値から差し引いて測定結果を算出した。1 ng/mL 水銀標準溶液 100 µL (総水銀の量として 0.1 ng)を繰り返し測定(n=10)して得られた分析値の標準偏差の 10 倍となる 0.004 ng を定量下限(LOQ)の推定値とした。測定に供する試料量が 100 mg の場合には、LOQ に相当する総水銀の試料における濃度は 0.0004 mg/kg であった。

4. メチル水銀の分析

メチル水銀は一般財団法人日本食品分析センターに委託して分析を行った。

III. 農薬

LC-MS/MS で測定可能な農薬 144 化合物及び GC-MS/MS で測定可能な農薬 141 化合物を対象とした。

1. 試薬及び試液

アセトニトリル、アセトン及びヘキサンは関東化学製の残留農薬試験用、LC-MS/MS 測定に使用した水及びメタノールは関東化学製の LC/MS 用を用いた。試験溶液調製用の水は超高純度蒸留水精製装置 NZJ-2DSYW(藤原製作所製)で蒸留したものを用いた。ろ紙はアドバンテック製の定量ろ紙 No.5A、ケイソウ土は富士フイルム和光純薬製のセライト 545 を用いた。酢酸アンモニウムは富士フイルム和光純薬製の特級を用いた。固相ミニカラムは InertSep AL-N/VRA-PR(400 mg/1600 mg)、InertSep VRA-PR(1600 mg)、InertSep C18(1000 mg)、InertSep PSA(500 mg)、InertSep SAX(500 mg)及び InertSep K-solute(20 mL)(いずれもジェールサイエンス製)を用いた。

2. 装置及び測定条件

2-1. LC-MS/MS

LC-MS/MS 装置は、Nexera X3(島津製作所製)及び Triple Quad 7500(Sciex 製)を使用し、以下の

条件で測定した。

カラム InertSustain C18(内径 2.1 mm、長さ 100 mm、粒子径 2 μ m、ジエールサイエンス製)；カラム温度 40°C；注入量 2 μ L；移動相 5 mmol/L 酢酸アンモニウム溶液(A 液)及び 5 mmol/L 酢酸アンモニウム・メタノール溶液(B 液)；流速 0.3 mL/min；グラジエント条件 0 分(A:B =98:2)→10 分(A:B=5:95)→15 分(A:B=5:95)→15.1 分(A:B=1:99)→20 分(A:B=1:99)→20.1 分(A:B=98:2)；イオン化法 ESI(+)及び ESI(-)；イオンスプレー電圧 2500 V；ヒーター温度 350°C；カーテンガス 窒素、35 psi；ネブライザーガス ドライエアー、70 psi；ターボガス ドライエアー、70 psi；コリジョンガス 窒素、7；測定モード 選択反応モニタリング(SRM)

2-2. GC-MS/MS

GC-MS/MS 装置は、ガスクロマトグラフ 7890 (Agilent Technologies 製)及び質量分析計 Xevo TQ-XS (Waters 製)を使用し、以下の条件で測定した。

カラム DB-5ms(内径 0.25 mm、長さ 30 m、膜厚 0.25 μ m: Agilent Technologies 製)；ガードカラム Rxi ガードカラム(フューズドシリカチューブ、内径 0.25 mm、長さ 2 m: Restek 製)；カラム温度 50°C (1 min)－25°C/min－125°C (0 min)－10°C/min－300°C (10 min)；キャリアガス 窒素；キャリアガス流量 1.5 mL/min(定流量)；注入方式 パルスドスプリットレス；注入量 2 μ L；注入口温度 260°C；トランスファーライン温度 300°C；イオン源温度 150°C；イオン化モード 大気圧化学イオン化 (APCI)法 ポジティブモード；コロナ電流 2 μ A；コーンガス流量 270 L/h；AUX (auxiliary)ガス流量 300 L/h；メイクアップガス流量 300 mL/min；コリジョンガス アルゴン；測定モード SRM

3. 試験溶液の調製

3-1. 抽出

1) 乾燥試料

試料 10.0 g に水 20 mL を加え、30 分間放置した。これにアセトン 100 mL を加え、ホモジナイザー Polytron PT 10-35 GT (Kinematica 製)を用いて約 1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土を約 1 cm の厚さに敷いたろ紙を用いて吸引ろ過した。残留物を採り、アセトン 50 mL を加え、約 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、水 20 mL を加えた後、アセトンを加えて正確に 200 mL とした(抽出液)。

2) 冷凍試料

試料 20.0 g にアセトン 100 mL を加え、ホモジナイザーを用いて約 1 分間ホモジナイズした後、ケイソウ土を約 1 cm の厚さに敷いたろ紙を用いて吸引ろ過した。残留物を採り、アセトン 50 mL を加えて約 1 分間ホモジナイズした後、吸引ろ過した。得られたろ液を合わせ、アセトンを加えて正確に 200 mL とした(抽出液)。

3-2. 多孔性ケイソウ土カラム精製

抽出液 8 mL (乾燥試料:試料 0.4 g 相当、冷凍試料:0.8 g 相当)を採り、エタノール 5 mL を加えてエバポレーターで 0.5 mL 以下まで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去した。残渣をアセトニトリル飽和ヘキサン 3 mL に溶解して多孔性ケイソウ土カラムに負荷し、5 分間放置後、ヘキサン飽和アセトニトリル 30 mL で溶出した。これをエバポレーターで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去し、残留物をアセトニトリル 1 mL に溶解した。

3-3. ミニカラム精製

1) LC-MS/MS 対象農薬

InertSep VRA-PR (1600 mg) にアセトニトリル 5 mL を注入し、コンディショニングした。これに **3-2** で得られた溶液を注入した後、アセトニトリル 10 mL で溶出した。溶出液をエバポレーターで濃縮後、

窒素気流下で溶媒を除去し、メタノール(乾燥試料の場合は 2 mL、冷凍試料の場合は 4 mL)に溶解して試験溶液とした。

2) GC-MS/MS 対象農薬

InertSep AL-N/VRA-PR(400 mg/1600 mg)にアセトニトリル 5 mL を注入し、コンディショニングした。これに 3-2 で得られた溶液を注入した後、アセトニトリル 10 mL で溶出した。溶出液をエバポレーターで濃縮後、窒素気流下で溶媒を除去し、アセトン/ヘキサン(1:1)(乾燥試料の場合は 2 mL、冷凍試料の場合は 4 mL)に溶解して試験溶液とした。

4. 定量

4-1. マトリックス検量線法

ブランク試験溶液 100 µL を採り、窒素気流下で溶媒を除去後、0.0005、0.001、0.0015、0.002、0.0025 及び 0.003 µg/mL 濃度の溶媒標準溶液(LC-MS/MS 用はメタノール、GC-MS/MS 用はアセトン/ヘキサン(1:1))100 µL を加えて溶解したものをマトリックス添加標準溶液とした。これらの溶液を LC-MS/MS または GC-MS/MS に注入し、検量線を作成した。各試験溶液を LC-MS/MS または GC-MS/MS に注入し、検量線から絶対検量線法により濃度を求めた。

4-2. 標準添加法

「3. 試験溶液の調製」で得られた溶液を用いて、表 2 に示した方法で標準添加法のための試験溶液(無添加試験溶液、添加試験溶液)を調製した。作成した無添加試験溶液及び添加試験溶液を GC-MS/MS または LC-MS/MS に注入し、添加濃度を横軸、ピーク面積を縦軸として、関係線を作成した。無添加試験溶液から得られたピーク面積に相当する濃度は、関係線と横軸との交点から求めた。

5. 妥当性評価

試料 23-003 を用いて、添加濃度 0.01 ppm で確

立した分析法の妥当性を評価した。「食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドラインについて」(妥当性評価ガイドライン)¹⁾に従い、1 日 2 併行、5 日間の枝分かれ実験を行い、各性能パラメータを求めた。定量は、4-1 に従ってマトリックス検量線法を用いて行った。

6. 昆虫試料の分析

確立した分析法を用いて昆虫試料(23-001～23-007 及び 23-009)を分析した。定量は、4-2 に従って標準添加法を用いて行った。

IV. ダイオキシン類

1. 試料

ダイオキシン類の分析法の検討では 23-001～23-003 を用いた。

2. 分析対象項目及び目標検出下限値

分析対象項目は、WHO が毒性係数(TEF)を定めた PCDDs 7 種、PCDFs 10 種及び Co-PCBs 12 種の計 29 種とした。ダイオキシン類各異性体の目標検出下限値(LOD)は以下のとおりである。

	検出下限値
PCDDs	(pg/g)
2,3,7,8-TCDD	0.01
1,2,3,7,8-PeCDD	0.01
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.02
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.02
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.02
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDD	0.05
PCDFs	
2,3,7,8-TCDF	0.01
1,2,3,7,8-PeCDF	0.01
2,3,4,7,8-PeCDF	0.01
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.02

1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.02
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.02
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.02
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.02
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.02
1,2,3,4,6,7,8,9-OCDF	0.05

Co-PCBs

3,3',4,4'-TCB(#77)	0.1
3,4,4',5-TCB(#81)	0.1
3,3',4,4',5-PeCB(#126)	0.1
3,3',4,4',5,5'-HxCB(#169)	0.1
2,3,3',4,4'-PeCB(#105)	1
2,3,4,4',5-PeCB(#114)	1
2,3',4,4',5-PeCB(#118)	1
2',3,4,4',5-PeCB(#123)	1
2,3,3',4,4',5-HxCB(#156)	1
2,3,3',4,4',5'-HxCB(#157)	1
2,3',4,4',5,5'-HxCB(#167)	1
2,3,3',4,4',5,5'-HpCB(#189)	1

3. 分析方法

ダイオキシン類の分析は、「食品中のダイオキシン類の測定方法暫定ガイドライン」(以下、ダイオキシン類測定方法ガイドライン)²⁾に準じた。

3-1. 試薬及び器具

クリーンアップスパイク標準溶液は、(株)ウェリントンラボラトリージャパンより NK-LCS-AD、MBP-MXF、及び MBP-MXK を購入した。シリンジスパイク標準溶液は、(株)ウェリントンラボラトリージャパンより NK-SS-F 及び MBP-79-500 を購入した。PCDD/PCDFs 混合溶液、ノンオルト PCB 混合溶液、及びモノオルト PCB 混合溶液は、(株)ウェリントンラボラトリージャパンよりそれぞれ NK-ST-B4、NK-LCS-AD、NK-SS-F、MBP-MXF [1:100]、及び MBP-MXK [1:10] を購入した。検量線用

PCDD/PCDFs 標準溶液は(株)ウェリントンラボラトリージャパンより FUD-CS1～CS5 を購入した。検量線用 Co-PCBs 標準溶液は、(株)ウェリントンラボラトリージャパンより FAT-CS1～CS5 を購入した。

アセトン(ダイオキシン類分析用)、メタノール(ダイオキシン類分析用)、ジクロロメタン(ダイオキシン類分析用)、水酸化カリウム(特級)、ヘキサン(ダイオキシン類分析用)、トルエン(ダイオキシン類分析用)、無水硫酸ナトリウム(PCB 分析用)、アルミナは関東化学(株)より購入した。ノナン(ダイオキシン類分析用)、硫酸(特級)、塩化ナトリウム(特級)は富士フイルム和光純薬(株)より購入した。ヘキサン洗浄水は、ミリポア Milli-Q IQ7005 環境分析タイプから採取した超純水をヘキサンで洗浄し使用した。

多層シリカゲルカラム(内径 15 mm、長さ 30 cm のカラムにシリカゲル 0.9 g、2%水酸化カリウムシリカゲル 3 g、シリカゲル 0.9 g、44%硫酸シリカゲル 4.5 g、22%硫酸シリカゲル 6 g、シリカゲル 0.9 g、10%硝酸銀シリカゲル 3 g、シリカゲル 0.9 g 及び無水硫酸ナトリウム 6 g 順次充填)は、ジーエルサイエンス(株)より購入した。アルミナカラムは、内径 15 mm、長さ 30 cm のカラムに無水硫酸ナトリウム 2 g、アルミナ 15 g、無水硫酸ナトリウム 2 g を順次充填し作製した。活性炭分散シリカゲルリバーカラムは関東化学(株)より購入した。

GC キャピラリーカラムは、DB-17(内径 0.25 mm×60 m、膜厚 0.25 µm)、DB-5ms(内径 0.32 mm×60 m、膜厚 0.25 µm)をアジレント・テクノロジー株式会社より、HT8(内径 0.22 mm×50 m、膜厚 0.25 µm)を SGE 社(現、トレイジャン サイエントフィック株式会社)より購入した。

3-2. 機器

高分解能 GC/MS: 7890(Agilent Technologies) /MStation JMS-800D UltraFOCUS 日本電子(株)

社製

3-3. 試験溶液の調製

均一化した試料をビーカーに量り採り、クリーンアップスパイク (^{13}C 標識した PCDD/PCDFs 各 40 pg (OCDD/OCDF は 80 pg)、ノンオルト PCBs 各 100 pg、モノオルト PCBs 各 2.5 ng) を加えた後、2 mol/L 水酸化カリウム水溶液を 200 mL 加え室温で約 16 時間放置した。このアルカリ分解液を分液ロートに移した後、メタノール 150 mL、ヘキサン 100 mL を加え 10 分間振とう抽出した。静置後、ヘキサン層を分取し、水層にヘキサン 70 mL を加え同様の操作を 2 回行った。ヘキサン層を合わせ、2%塩化ナトリウム溶液 200 mL を加えて緩やかに揺り動かし、静置後、水層を除き同様の操作を繰り返した。ヘキサン層の入った分液ロートに濃硫酸を適量加え、振とうし、静置後、硫酸層を除去した。この操作を硫酸層の着色が薄くなるまで繰り返した。ヘキサン層をヘキサン洗浄水 10 mL で 2 回洗浄し、無水硫酸ナトリウムで脱水後、溶媒を留去し約 2 mL のヘキサンに溶解した。多層シリカゲルカラムをヘキサン 200 mL で洗浄した後、試験溶液を注入し、ヘキサン 200 mL で溶出した。溶出液は溶媒を留去し、約 2 mL のヘキサンに溶解した。ヘキサンで湿式充填したアルミナカラムに試験溶液を注入し、ヘキサン 150 mL で洗浄後、2% (v/v) ジクロロメタン含有ヘキサン 200 mL でモノオルト PCBs 分画を溶出した。次いで、60% (v/v) ジクロロメタン含有ヘキサン 200 mL で PCDD/PCDFs 及びノンオルト PCBs 分画を溶出した。モノオルト PCBs 分画は溶媒を留去し、シリジンスパイク 500 μL (^{13}C 標識体 2.5 ng) を添加し高分解能 GC/MS に供した。PCDD/PCDFs 及びノンオルト PCBs 分画は溶媒を留去した後、活性炭分散シリカゲルリバーサカラムに注入し、10 分程度放置した。25% (v/v) ジクロロメタン含有ヘキサン 80 mL でカラムを洗浄後、カラム

を反転させ、トルエン 80 mL で PCDD/PCDFs 及びノンオルト PCBs 分画を溶出した。溶媒を留去後、シリジンスパイク 20 μL (PCDD/PCDFs 用 ^{13}C 標識体 40 pg、ノンオルト PCB 用 ^{13}C 標識体 100 pg) を添加し高分解能 GC/MS に供した。

3-4. 高分解能 GC/MS 測定条件

1) GC 条件

① 2,3,7,8-TCDD、1,2,3,7,8-PeCDD、1,2,3,7,8-PeCDF、1,2,3,4,7,8-HxCDF、1,2,3,6,7,8-HxCDF

カラム: DB-5ms (内径 0.32 mm×60 m、膜厚 0.25 μm)

注入方式: スプリットレス

注入口温度: 250°C

注入量: 1.5 μL

昇温条件: 130°C (2 分保持) -30°C/分-200°C-5°C/分-220°C (16 分保持) -6°C/分-300°C (10 分保持)

キャリアーガス: ヘリウム (流速: 1.8 mL/分)

② 1,2,3,4,7,8-HxCDD、1,2,3,6,7,8-HxCDD、1,2,3,7,8,9-HxCDD、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD、OCDD、2,3,7,8-TCDF、2,3,4,7,8-PeCDF、1,2,3,7,8,9-HxCDF、2,3,4,6,7,8-HxCDF、1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、1,2,3,4,7,8,9-HpCDF、OCDF

カラム: DB-17 (内径 0.25 mm×60 m、膜厚 0.25 μm)

注入方式: スプリットレス

注入口温度: 250°C

注入量: 2.0 μL

昇温条件: 130°C (2 分保持) -30°C/分-200°C-3°C/分-280°C (30 分保持)

キャリアーガス: ヘリウム (流速: 1.5 mL/分)

③ Co-PCBs

カラム: HT8 (内径 0.22 mm×50 m、膜厚 0.25 μm)

注入方式: スプリットレス

注入口温度: 260°C

注入量:1.5 μ L

昇温条件:130°C(1 分保持)-15°C/分-220°C(5 分保持)-2°C/分-300°C(1 分保持)

キャリアーガス:ヘリウム(流速:1.2 mL/分)

2)MS 条件

MS 導入部温度:280°C

イオン源温度:280°C

イオン化法:電子イオン化(EI)法ポジティブモード

イオン化電圧:38 eV

イオン化電流:600 μ A

加速電圧:~10.0 kV

分解能:10,000 以上

モニターイオン:ダイオキシン類測定方法ガイドラインに準じた。

C. 研究結果及び考察

[1] 試料調製の検討

本課題では、国内で流通している昆虫食 8 製品(23-001~23-007 及び 23-009: 表 1)を対象とした。パウダー製品であった 23-003 はそのまま分析に供した。有姿状態で販売されていたその他の製品は、検体 1 kg(23-007 は 300 g)を試料調製(均質化)したものを分析に用いた。

試料調製には、1 kg 程度まで処理可能な GM300(Verder Scientific 製)を用いた。重金属のコンタミを防止するため、回転刃はチタンコーティングされたもの、容器はポリカーボネート製のものを使用した。各検体を試料調製した結果、23-001 及び 23-002 のように脂質含量が高く、粘性が高いもの及び 23-005 のように繊維質が多いものでは粉碎中に回転が停止し、均質化するのが困難であった。そこで、検体約 1 kg を 200~300 g ずつに分け、より高い回転数で粉碎可能な GM200(Verder Scientific 製)を用いて約 6000 rpm で均質化した後、得られた試料を合わせ GM300 で再度、粉碎

(約 1000 rpm)し、混合したところ、いずれの試料も均質化することができた。このため、試料調製は検体を 200~300 g ずつに分け、GM200 で均質化後、得られた試料を合わせて GM300 で粉碎及び混合することとした。なお、検体量が 300 g 以下の場合には GM200 のみで試料調製を行うこととした。各試料の均質化前及び均質化後の写真を図 1 に示した。

[2] 水分及び脂質含量

各試料の水分及び脂質含量を表 3 に示した。水分は乾燥試料では 5%未満、冷凍試料では 58.6~85.4%であった。脂質含量は、乾燥試料では 18.2~36.3%、冷凍試料では 2.0~17.5%となり、昆虫種によって大きく異なることが確認された。

[3] 分析法の検討

I. 有害元素(カドミウム、鉛及びヒ素)

1. 性能評価

当所において従来から有害元素の分析に用いているマイクロ波分解/ICP-MS 法の昆虫食試料への適用性を検討した。カドミウム、鉛及びヒ素の各元素について添加濃度 0.1 mg/kg で 1 日 2 併行、5 日間の添加回収試験を行い、性能を評価した。なお、事前分析の結果、23-001~23-007 及び 23-009 のいずれの試料にも分析対象元素が含まれていたため、各元素の濃度が低かった 23-009 を添加回収試験用の試料として選択した。その結果、真度 97~105%、併行精度及び室内精度 6%未満となった(表 4)。これらの結果から、本分析法は十分な精確さをもって分析を行うことが可能であり、実態調査に用いることが妥当と考えられた。

2. 昆虫食試料の分析

マイクロ波分解/ICP-MS 法を用いて 23-001~23-007 及び 23-009 のカドミウム、鉛及びヒ素濃度

を分析した。結果を表 5 に示した。

カドミウム濃度は 0.01～0.14 mg/kg となり、最も高い値を示したのは 23-002 (ミルワーム) であった。我が国では、玄米及び精米に基準値「カドミウムとして 0.4 mg/kg」(平成 22 年 4 月 8 日食安発 0408 第 2 号) が設定されているが、いずれの試料も玄米及び精米の基準値を下回っていた。

鉛濃度は 0.01～0.19 mg/kg となり、最も高い値を示したのは、23-007 (コガタスズメバチ) であった。コガタスズメバチは主に昆虫を餌とするため、捕食した昆虫に由来するものと推測された。我が国では農産物に 1～5 mg/kg の基準値が設定されているが、いずれの試料もこれらの基準値を下回っていた。

総ヒ素濃度は 0.02～1.32 mg/kg となり、23-001 (カイコ) 及び 23-004 (ヨーロッパイエコオロギ) ではそれぞれ 0.86 mg/kg 及び 1.32 mg/kg であった。一般に、食品に含まれるアルセノベタイン等の有機ヒ素化合物よりも無機ヒ素化合物の方が毒性が高くとされているため、23-001 及び 23-004 の無機ヒ素濃度を分析した。その結果、23-004 では定量限界 (0.1 mg/kg) 未満となり、大部分が有機ヒ素であることが示された。一方、23-001 は 0.5 mg/kg と無機ヒ素濃度が高かった。23-001 は乾燥試料であることから、乾燥工程で原材料に含まれていたヒ素が濃縮されたものと考えられた。我が国では食品中の無機ヒ素に基準値は設定されていないが、CODEX では玄米及び精米に対してそれぞれ 0.35 mg/kg 及び 0.2 mg/kg の基準値が設定されており、23-001 はこれらより高い値であった。しかし、カイコの摂取量は玄米や精米と比べて圧倒的に少ないと考えられることから、早急な対策を講じる必要はないと考えられる。

II. 有害元素(水銀)

1. 性能評価

当所において従来から用いている加熱気化型水銀分析計による総水銀分析法の昆虫食試料への適用性を検討した。事前分析の結果、23-001～23-007 及び 23-009 のいずれの試料にも水銀が含まれていた。このため、水銀濃度が最も低かった 23-005 を添加回収試験用の試料として選択し、添加濃度 0.005 及び 0.2 mg/kg で 1 日 2 併行、5 日間の添加回収試験を行って分析法の性能を評価した。結果を表 6 に示した。真度 97～104%、併行精度<3%、室内精度<4%となったことから、本分析法は十分な精確さをもって 0.005 mg/kg までの分析を行うことが可能であり、実態調査に用いることが妥当と考えられた。

2. 昆虫食試料の分析

試料 23-001～23-007 及び 23-009 の総水銀を分析した結果を表 7 に示した。23-004 (ヨーロッパイエコオロギ) は 0.18 mg/kg であったが、その他の試料は 0.015 mg/kg 未満であった。いずれの試料も、魚介類に設定されている暫定的規制値「総水銀として 0.4 mg/kg」(昭和 48 年厚生省環乳第九九号) を下回っていることが確認された。水銀のうち、メチル水銀は魚介類に多く含まれ、妊娠中の女性が多く摂取すると胎児の脳神経系に影響を与えることが知られている。そこで、23-004 のメチル水銀濃度を分析した。その結果、0.08 mg/kg となり、総水銀及びメチル水銀のいずれも魚介類の暫定的規制値(昭和 48 年厚生省環乳第九九号) を下回っていることが確認された(表 8)。23-004 は、製品には明記されていないが、養殖された昆虫と考えられる。当該試料が他の試料と比較し、総水銀濃度が高値となった原因を明らかにするためには昆虫に与えた飼料についての情報が必要であるが、飼料についての情報は今回得られなかった。

III. 農薬

1. 抽出方法の検討

農産物中の残留農薬一斉分析では抽出溶媒としてアセトニトリルやアセトンを用いることが多い。しかし、昆虫食は試料によっては脂質含量や夾雑成分が多く、農産物の分析で一般的に用いられる抽出溶媒では抽出操作に問題が生じる可能性が考えられた。そこで、比較的脂質含量が高く(表 3)、且つ、乾燥試料で夾雑成分が多いと予想された 23-001~23-003 を用いてアセトニトリル及びアセトンで抽出し、操作性に問題がないか検討した。各試料をアセトニトリルまたはアセトンで 2 回ホモジナイズ抽出(抽出 1 回目 50 mL、2 回目 20 mL)を行った。なお、いずれも乾燥試料であるため、試料 10 g に対して水 20 mL を加えて 30 分間放置し、膨潤させた後、抽出を行った。その結果、アセトニトリルを用いた場合、脂質含量が高い 23-001 及び 23-002 では、抽出液を数時間放置すると油状物質の分離が見られた。アセトニトリルを用いた場合、油状物質の分離は、抽出溶媒量を 1 回目 100 mL、2 回目 50 mL としても見られた。これは脂質が多く、アセトニトリルに十分溶解しないためと考えられた。一方、アセトンを用いて抽出溶媒量を 1 回目 100 mL、2 回目 50 mL としたところ、油状物質の分離はほとんど見られなかった。しかしながら、乾燥試料では、抽出液にアセトンを加えて 200 mL に定容すると高極性と考えられる夾雑成分の析出が見られた。冷凍試料では抽出液にアセトンを加えて 200 mL に定容しても析出は見られなかった。乾燥試料は脂質だけではなく、その他の夾雑成分も非常に多いと考えられる。脂質はアセトンに溶解しやすいものの、高極性の夾雑成分は溶解しにくいいため、抽出液(水/アセトン)にアセトンを加えると、高極性の夾雑成分が析出しやすくなるものと考えられる。これらの結果から、(乾燥試料では水で膨潤

後、)アセトンを用いてホモジナイズ抽出し(抽出 1 回目 100 mL、2 回目 50 mL)、冷凍試料ではそのまま、乾燥試料では水 20 mL を加えた後、アセトンで 200 mL に定容することとした。

2. 精製方法の検討

(1) 脱脂方法

表 3 に示した通り、検討に用いた昆虫食試料の中には脂質含量が高いものもあるため、脱脂方法としてアセトニトリル/ヘキサン分配を検討した。農薬をアセトニトリル飽和ヘキサン 20 mL に溶解した後、ヘキサン飽和アセトニトリル 20 mL で抽出し、回収率を求めた。その結果、ヘキサン飽和アセトニトリルで 3 回抽出することで、ほとんどの農薬を回収できた。しかしながら、低極性農薬(aldrin (79%)、fenpropimorph (65%) 及び hexachlorobenzene (65%))では 80%未満の低回収率となった。

そこで、多孔性ケイソウ土カラムを用いた精製を検討した。アセトニトリル飽和ヘキサン 3 mL で負荷し、ヘキサン飽和アセトニトリルで溶出した。その結果、ヘキサン飽和アセトニトリル 30 mL で hexachlorobenzene (55%)を除き、良好な回収率が得られ、aldrin や fenpropimorph ではアセトニトリル/ヘキサン分配よりも高い回収率が得られた。

アセトニトリル/ヘキサン分配と多孔性ケイソウ土カラム精製の精製効果を比較するため、23-001~23-007 及び 23-009 を用いて、精製前後での残渣重量を求めた(表 9)。その結果、アセトニトリル/ヘキサン分配では残渣の重量が 18~83%、多孔性ケイソウ土カラムによる精製では 26~92%減少し、23-005 を除き、両方法で精製効果に大きな差は認められなかった。23-005 は多孔性ケイソウ土カラムによる精製の方が残渣の除去率が高かった。いずれの精製方法も、23-001 や 23-002 のように脂質含量が高い乾燥試料だけではなく、23-009 のように水分含量が高く、脂質含量が低い試料につい

でも精製効果が認められた。これらの結果から、脂質含量によらず、すべての試料について多孔性ケイソウ土カラムを用いた精製を行うこととした。

(2) ミニカラム精製

残留農薬分析では、低極性夾雑成分を除去するために ODS ミニカラム、酸性夾雑成分を除去するために PSA や SAX 等の陰イオン交換ミニカラムを用いて精製することが多い。そこで、ODS、PSA 及び SAX の各ミニカラム(それぞれ InertSep C18、InertSep PSA 及び InertSep SAX)に加えて、ODS、PSA 及び SAX の充填剤が混合された InertSep VRA-PR、そして InertSep VRA-PR にアルミナが積層された InertSep AL-N/VRA-PR の精製効果を比較した。図 2 に 23-003 を各ミニカラムで精製後、GC-(EI)MS で Scan 測定した結果を示した。ODS、PSA 及び SAX ミニカラムを比較すると、PSA ミニカラムが最も夾雑成分のピークが小さく、精製効果が高かった。PSA ミニカラムと InertSep VRA-PR では、InertSep VRA-PR の方が夾雑成分の除去効果が高かった。さらに InertSep VRA-PR と InertSep AL-N/VRA-PR を比較すると、InertSep AL-N/VRA-PR の方が夾雑成分のピークが小さく、精製効果が高いことが示された。

そこで、InertSep AL-N/VRA-PR からの農薬の回収率を確認した。農薬をアセトニトリル 1 mL に溶解し、InertSep AL-N/VRA-PR に負荷後、アセトニトリル 10 mL で溶出した。その結果、GC-MS/MS 対象農薬では 141 化合物中 134 化合物で 80% 以上の回収率が得られた(図 3)。これに対し、LC-MS/MS 対象農薬で 80% 以上の回収率が得られたのは 144 化合物中 92 化合物となり、GC-MS/MS 対象農薬と比べて低回収率の農薬が多かった。そこで、LC-MS/MS 対象農薬について InertSep VRA-PR からの回収率を確認した。農薬をアセトニトリル 1 mL に溶解し、InertSep VRA-PR に負荷後、

アセトニトリル 10 mL で溶出した。その結果、144 化合物中 139 化合物で 80% 以上の回収率が得られた。これらの結果から、GC-MS/MS 対象農薬は InertSep AL-N/VRA-PR、LC-MS/MS 対象農薬は InertSep VRA-PR を用いて精製することとした。本方法で 23-001~23-007 及び 23-009 を精製したところ、最終試験溶液に含まれる残渣重量は多孔性ケイソウ土カラム精製後の残渣重量と比べて 1/10 以下となった。最終試験溶液 1 mL 当たりに含まれる残渣重量は、InertSep AL-N/VRA-PR 精製を行った場合は 0.1 mg 未満、InertSep VRA-PR 精製を行った場合は 0.7 mg 未満となり、InertSep AL-N/VRA-PR または InertSep VRA-PR を用いた精製は夾雑成分の除去効果が高いことが示された。

3. 妥当性評価試験

試料 23-003 を用いて添加濃度 0.01 ppm で 1 日 2 併行、5 日間の妥当性評価試験を行った。なお、定量はマトリックス検量線法で行った。

(1) 選択性

LC-MS/MS 対象農薬及び GC-MS/MS 対象農薬のいずれも妥当性評価ガイドライン¹⁾の目標値を満たし、選択性に問題はなかった。

(2) 真度、併行精度及び室内精度

真度、併行精度及び室内精度の結果を表 10 及び 11、概要を図 4 に示した。LC-MS/MS 対象農薬では 144 化合物中 135 化合物、GC-MS/MS 対象農薬では 141 化合物中 134 化合物で妥当性評価ガイドライン¹⁾の真度の目標値(70~120%)を満たした。真度が 50% 未満となったのは 6 化合物であった。このうち、acephate は InertSep VRA-PR 精製、bromopropylate、dimethylvinphos (E) 及び edifenphos は InertSep AL-N/VRA-PR 精製、clofencet 及び propamocarb はケイソウ土カラム及び InertSep VRA-PR 精製での損失が真度が低い主な原因と考えられた。併行精度及び室内精度は、

真度の目標値を満たしたすべての農薬で目標値（併行精度 RSD 25%未満、室内精度 RSD 30%未満）を満たした。

(3) マトリックスの影響

試料マトリックスの測定への影響を評価するため、試料中濃度 0.01 ppm 相当での溶媒標準溶液に対するマトリックス添加標準溶液のピーク面積比を求めた。その結果、ピーク面積比（5 日間の平均値）が 0.70～1.20 の範囲となったのは、LC-MS/MS 対象農薬では 144 化合物中 123 化合物、GC-MS/MS 対象農薬では 141 化合物中 121 化合物であった（図 5）。これらの結果から、検討農薬の 85%以上ではマトリックスによる影響は小さく、本分析法は精製効果が高い方法であることが示唆された。しかしながら、一部の農薬ではマトリックスの影響が比較的大きいものもあったため、分析の際はマトリックスの影響を補正して定量する必要があると考えられた。

4. 昆虫食試料の分析

本検討で確立した分析法を用いて昆虫食試料（23-001～23-007 及び 23-009）を分析した。昆虫食は、昆虫の種類や加工の程度により夾雑成分が大きく異なるため、測定の際のマトリックスの影響も試料によって異なると考えられる。このため、溶媒標準溶液を用いた絶対検量線法では精確に定量できない可能性が考えられた。また、マトリックス検量線法による定量は適切なブランク試料がないと用いることができない。このようなことから、昆虫食試料の分析においては、標準添加法を用いて定量し、精確な分析値を求めることとした。

各試料を分析した結果、23-001（カイコ）において ametryn (0.05 mg/kg) 及び chlorofenapyr (0.04 mg/kg) が 0.01 mg/kg 以上検出された（表 12）。昆虫食には農薬の基準値は設定されていないため、（原材料に）一律基準 0.01 mg/kg が適用される。し

かし、23-001 は乾燥品であり、原材料の水分含量の情報がいないため、一律基準を超過しているか否かは不明である。

IV. ダイオキシン類

1. 昆虫食試料の前処理法の検討

昆虫食試料の前処理方法として、ダイオキシン類測定方法ガイドラインに準じて当所で従来から実施している試験溶液調製方法²⁾（従来法）の適用性を検討した。従来法を昆虫食試料に適用した場合、アルカリ分解やヘキサン抽出操作において、昆虫の外骨格などの不溶物が操作の妨げになることが懸念されたため、従来法を昆虫食試料に適用する際の操作性を確認した。

昆虫には脂質が多く含まれると考えられるが、従来法で油脂類の試料を処理した場合、10 g 程度の油脂試料を前処理できることが確認されている³⁾。そこで、分析に使用する昆虫食試料中の脂質量が 10 g を超えないように供試料量を設定した。表 3 に示した各昆虫食試料の脂質含有量に応じて供試料量を設定し、シルクワームサナギ及びミルワームでは 25 g、ヨーロッパイエコオロギでは 50 g として検討した。

各試料を水酸化カリウム水溶液で 16 時間分解した後の写真を図 7. A に示した。各試料において、液面に一部昆虫の外骨格の不溶物が浮いているものの、全体的にはマーケットバスケット試料の 10 群（魚介類）及び 11 群（畜肉・卵類）と同様の状態であったことから、水酸化カリウム溶液の用量と処理時間は問題ないことが確認された。昆虫の外骨格は、キチン及びキチン結合性タンパク質を主成分とするマトリクスであり⁴⁾、ダイオキシン類汚染物を含む可能性が低いため、アルカリ分解時に不溶でも、昆虫食中のダイオキシン類の濃度調査に影響を及ぼさないと考えられた。一方で、図 7. B に示

したように、ヘキサンで抽出した際には、微細化されたパウダー状の試料であるヨーロッパエコオロギでは、微細な不溶物が振とうによって生じたエマルジョンに懸濁し、ヘキサン層と水層の境界が見えにくくなることが認められた。そこで、細心の注意を払い、水層を除去した後、塩化ナトリウム水溶液中での洗浄時(2 回目)に少量の硫酸を加えたところ、図 7. C に示したように、エマルジョンが消えてヘキサン層と水層を明確に分離することができた。また、3 種類の昆虫食試料とも、ヘキサン抽出の過程において、不溶物が分液ロートの活栓に詰まりやすいことが認められたものの、操作全体に大きな支障がないことを確認した。以上の検討から、従来法は昆虫食試料に対しても適用可能と考えられた。

2. 従来法適用時の添加回収試験

2-1. 添加回収試験用試料の選定

昆虫食試料に対する従来法の妥当性を検証するため、添加回収試験を実施した。添加回収試験に用いる昆虫食試料を選定するため、3 種類の昆虫食試料中のダイオキシン類濃度(バックグラウンド)を測定した。各昆虫食試料中のダイオキシン類の実測濃度を表 13 に示した。各異性体の濃度範囲は、シルクワームサナギで 0.023~16 pg/g、ミルワームで 0.017~5.0 pg/g、ヨーロッパエコオロギで 0.014~106 pg/g であった。総ダイオキシン濃度は、シルクワームサナギで 42 pg/g、ミルワームで 11 pg/g、ヨーロッパエコオロギで 270 pg/g であり、この 3 種類の昆虫食試料の中ではミルワームの総ダイオキシン濃度が最も低いことが確認された。また、シルクワームサナギとミルワームと比較して、ヨーロッパエコオロギでは OCDD や PCB118 などの一部の異性体濃度が高い値を示し、総ダイオキシン濃度も高い値を示した。昆虫食試料の原料となる昆虫の飼育環境や食性が異なるため、各試料中のダイオキシン濃度が大きく異なる結果となったと

考えられた。なお、2005 年に WHO により定められた毒性等価係数(TEF)を用いて各試料の毒性当量(TEQ)濃度を算出すると、シルクワームサナギで 0.29 pg TEQ/g、ミルワームで 0.064 pg TEQ/g、ヨーロッパエコオロギで 0.24 pg TEQ/g であった。ダイオキシン類濃度が高いとされる魚介類と比較すると、検討した 3 種類の昆虫食試料中のダイオキシン類毒性当量濃度は、令和 2 年度の東京都の調査⁵⁾で報告されている魚介類(0.40~2.07 pg-TEQ/g)より低い値であった。

本検討から、添加回収試験にはダイオキシン類のバックグラウンド濃度が最も低かったミルワーム試料を用いることとした。

2-2. 添加回収試験

添加回収試験におけるダイオキシン類の各異性体の添加濃度は、バックグラウンドの 5~10 倍程度となるようにダイオキシン類測定方法ガイドラインの目標検出下限濃度の 10 倍とした(ただし、一部の異性体ではバックグラウンド濃度の 5 倍未満となっている。)。添加回収試験の結果を表 14 に示した。各異性体の平均添加回収率は 84.1%~111.9%、併行精度は 1.9%~13.3%の範囲であった。農林水産省が策定した「分析法の妥当性確認に関するガイドライン」により⁶⁾、分析対象物質の濃度が 0.001 mg/kg 以下の場合には、食品中に含まれる化学物質の分析に求められる回収率は 40%~120%と定められている。従来法を用いた添加回収試験で得られた回収率はその範囲内にあり、昆虫食試料のダイオキシン類分析法として従来法が適用可能であることが確認された。

D. 結論

昆虫食に含まれる有害化学物質の汚染実態調査に向けて、有害元素、ダイオキシン類及び農薬の分析法を検討した。

有害元素の分析法として、マイクロ波分解/ICP-MS 法を用いたカドミウム、鉛及びヒ素分析法及び加熱気化型水銀分析計を用いた総水銀分析法の昆虫食への適用性を検討した。分析法の性能を評価したところ、いずれも良好な結果が得られ、実態調査のための分析法として妥当であることが示された。

昆虫食を対象とした新規農薬分析法として、LC-MS/MS 及び GC-MS/MS を用いた農薬一斉分析法を開発した。妥当性評価試験を行ったところ、285 化合物中 269 化合物で妥当性評価ガイドラインの目標値を満たし、一部の農薬を除き、実態調査のための分析法として妥当と考えられた。

ダイオキシン類分析法として、従来から当所で使用している分析法(従来法)の昆虫食に対する適用性を検討した。その結果、前処理の操作性に大きな問題はないことが確認され、添加回収試験においても良好な結果が得られたことから、従来法は昆虫食のダイオキシン類分析法として適用可能であることが示された。

来年度以降は、本年度確立した分析法を用いて国内に流通する昆虫食の汚染実態調査を行う予定である。

E. 参考文献

- 1) 食品中に残留する農薬等に関する試験法の妥当性評価ガイドラインについて、厚生労働省医薬食品局食品安全部長通知(平成 19 年 11 月 15 日、食安発第 1115001 号)(平成 22 年 12 月 24 日一部改正、食安発 1224 第 1

号)

- 2) 食品中のダイオキシン類の測定方法暫定ガイドライン、食安監発第 0228003(平成 20 年 2 月 28 日)
- 3) 令和 4 年度厚生労働行政推進調査事業費補助金研究報告書「食品を介したダイオキシン類等有害物質摂取量の評価とその手法開発のための研究」分担研究報告書(食品に含まれる残留性有機汚染物質等の摂取量推定及び汚染実態の把握に関する研究)
- 4) 朝野維起. 昆虫外骨格内に存在するメラニン合成酵素. 比較生理生化学. **30**、106-114 (2013).
- 5) 角田徳子、大久保智子、中嶋順一、守安貴子. 東京湾産魚介類中の残留ダイオキシン類濃度調査結果(令和 2 年度). Ann. Rep. Tokyo Metr. Inst. Pub. Health. **72**, 305-311, (2021).
- 6) 分析法の妥当性確認に関するガイドライン、農林水産省 令和元年 10 月

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

G. 知的財産権の出願・登録状況

なし

表 1 検討に用いた昆虫食

No.	昆虫	原産国	パウダー/姿	乾燥/冷凍	加熱の有無	1 匹当たりの重さ (mg、平均*)
23-001	カイコ(さなぎ、まゆ無し)	タイ	姿	乾燥	加熱	267
23-002	ミルワーム	タイ	姿	乾燥	加熱	32
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	タイ	パウダー	乾燥	加熱	—
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	日本	姿	冷凍	非加熱	463
23-005	カイコ(幼虫)	日本	姿	冷凍	非加熱	3028
23-006	ジャイアントミルワーム	日本	姿	冷凍	非加熱	627
23-007	コガタスズメバチ	日本	姿	冷凍	非加熱	609
23-009	ツムギアリ	タイ	姿	冷凍	非加熱	141(大型)、5(小型)

* n=5

表 2 標準添加法における試験溶液の調製

	無添加試験溶液	添加試験溶液			
農薬添加量	0	0.025 mg/kg相当	0.05 mg/kg相当	0.075 mg/kg相当	0.1 mg/kg相当
試験溶液量 (μL)	100	100	100	100	100
標準溶液濃度 (μg/mL)	—	0.02			
標準溶液添加量 (μL)	0	25	50	75	100
溶媒添加量 (μL)	100	75	50	25	0
最終試験溶液量 (μL)	200	200	200	200	200



図1 均質化前及び均質化後の写真

上段 粉碎前、下段 粉碎後

23-003 はパウダー製品のため、そのまま分析に供した。

表 3 水分及び脂質含量

No.	昆虫	乾燥/冷凍	加熱の有無	水分(%)	脂質(%)
23-001	カイコ(さなぎ、まゆ無し)	乾燥	加熱	2.1	36.3
23-002	ミルワーム	乾燥	加熱	2.1	33.0
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	乾燥	加熱	4.5	18.2
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	冷凍	非加熱	69.8	5.2
23-005	カイコ(幼虫)	冷凍	非加熱	85.4	2.0
23-006	ジャイアントミルワーム	冷凍	非加熱	58.6	17.5
23-007	コガタスズメバチ	冷凍	非加熱	67.0	3.4
23-009	ツムギアリ	冷凍	非加熱	82.6	5.9

表 4 カドミウム、鉛及びヒ素の性能評価結果

	添加濃度(mg/kg)	真度(%)	併行精度(RSD%)	室内精度(RSD%)
カドミウム	0.1	98	2.8	3.0
鉛	0.1	97	5.1	5.1
ヒ素	0.1	105	2.2	3.5

表 5 昆虫食 8 製品のカドミウム、鉛及びヒ素濃度

No.	昆虫	乾燥/ 冷凍	分析値(mg/kg)			
			カドミウム	鉛	ヒ素	無機ヒ素
23-001	カイコ(サナギ、まゆ無し)	乾燥	0.03	0.05	0.86	0.5
23-002	ミルワーム	乾燥	0.14	0.02	0.11	—
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	乾燥	0.03	0.03	0.04	—
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	冷凍	0.01	0.01	1.32	<LOQ*
23-005	カイコ(幼虫)	冷凍	0.01	0.04	0.02	—
23-006	ジャイアントミルワーム	冷凍	0.02	0.01	0.07	—
23-007	コガタスズメバチ	冷凍	0.03	0.19	0.33	—
23-009	ツムギアリ	冷凍	0.02	0.03	0.02	—

* LOQ 0.1 mg/kg

表 6 総水銀の性能評価結果

添加濃度 (mg/kg)	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
0.005	104	0.8	3.5
0.2	97	2.5	2.5

表 7 昆虫食 8 製品の総水銀濃度

No.	昆虫	分析値 (mg/kg)*
23-001	カイコ (サナギ、まゆ無し)	0.0031
23-002	ミルワーム	0.0015
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	0.0028
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	0.180
23-005	カイコ (幼虫)	0.0006
23-006	ジャイアントミルワーム	0.0031
23-007	コガタスズメバチ (成虫)	0.0137
23-009	ツムギアリ	0.0026

表 8 メチル水銀濃度

No.	昆虫	分析値 (mg/kg)
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	0.08

表 9 アセトニトリル・ヘキサン分配及び多孔性ケイソウ土カラム精製による精製効果

	除去率(%)*	
	アセトニトリル・ヘキサン分配	多孔性ケイソウ土カラム精製
23-001	83	85
23-002	82	92
23-003	45	56
23-004	24	30
23-005	18	64
23-006	30	26
23-007	49	68
23-009	82	92

*(精製前重量-精製後重量)/精製前重量×100(%)

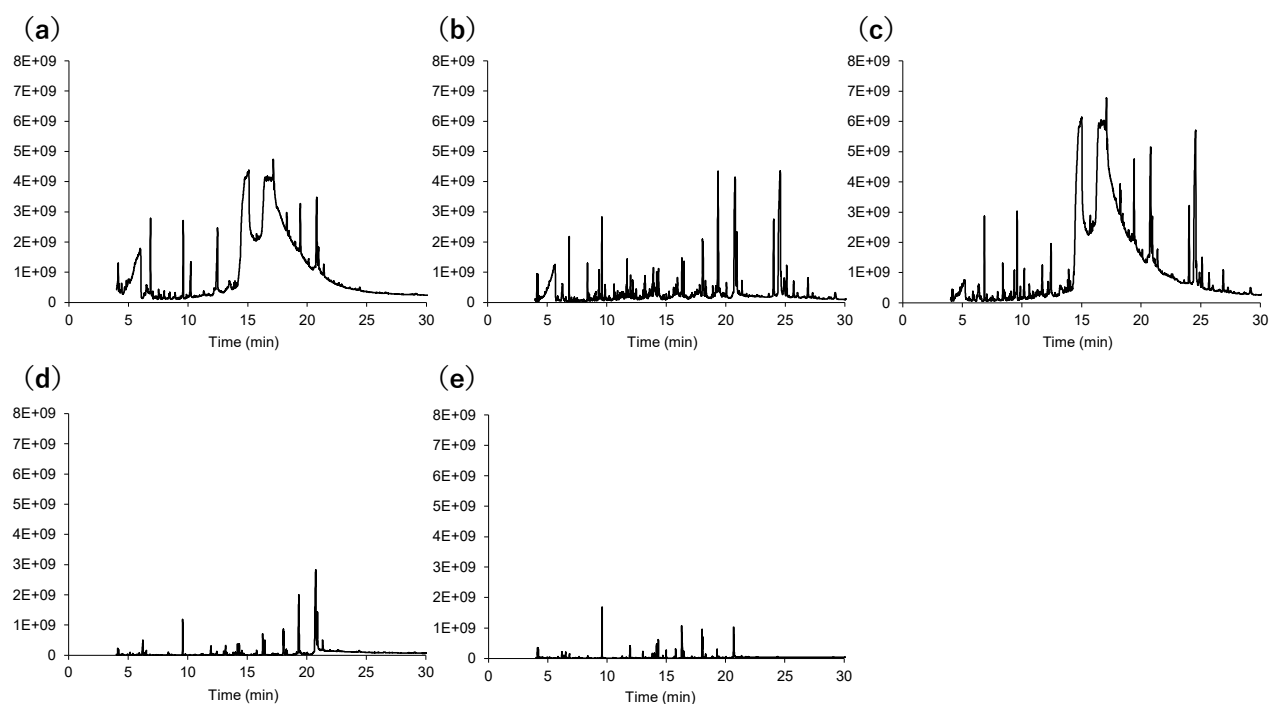


図 2 ミニカラム*精製後の GC-(EI)MS の TIC クロマトグラム (m/z 40-500)

試料:23-003

*(a)InertSep C18(1000 mg)、(b)InertSep PSA(500 mg) (c)InertSep SAX(500 mg)、(d)InertSep VRA-PR(1600 mg)、(e) InertSep AL-N/VRA-PR(400 mg/1600 mg)

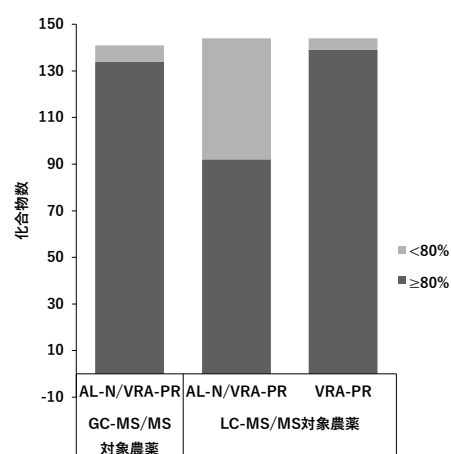
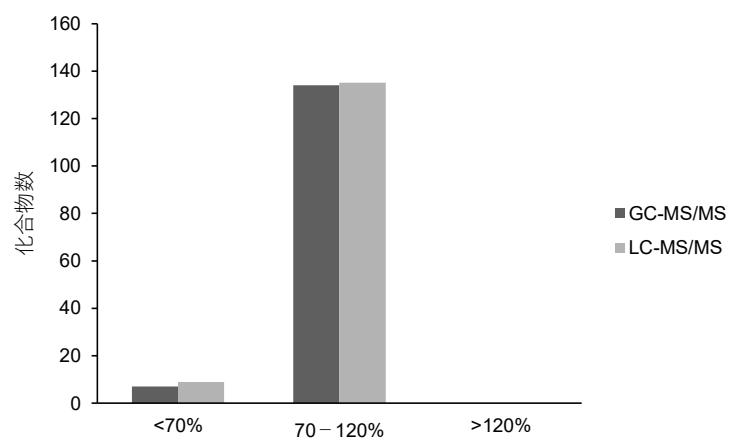


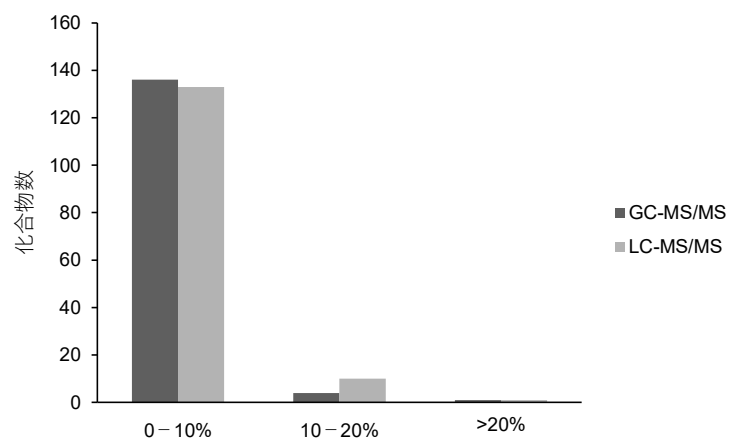
図 3 各農薬のミニカラム*からの回収率

* InertSep AL-N/VRA-PR 及び InertSep VRA-PR

(a)



(b)



(c)

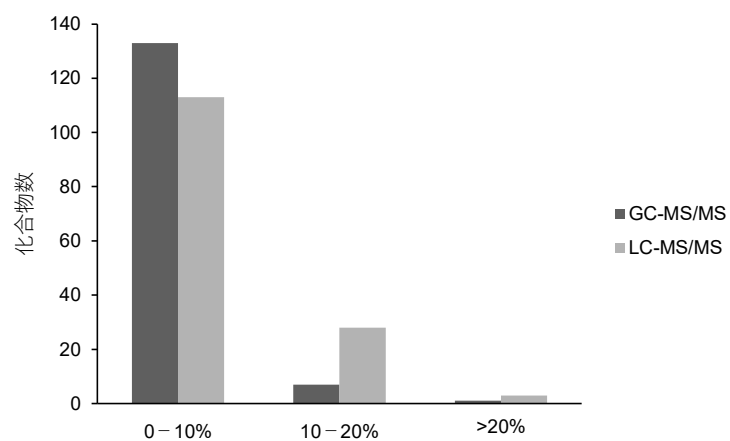


図4 妥当性評価結果の概要

(a) 真度、(b) 併行精度、(c) 室内精度

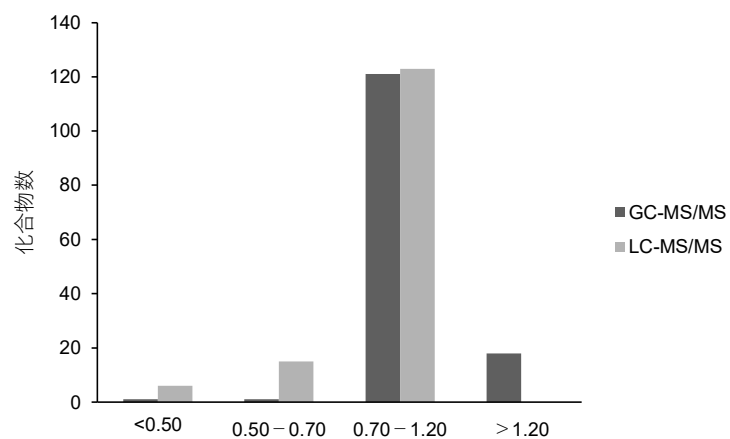


図 5 マトリックスの影響*

*試料中濃度 0.01 mg/kg 相当における溶媒標準溶液に対するマトリックス標準溶液のピーク面積比

表 10 農薬の妥当性評価試験結果 (LC-MS/MS 対象農薬)

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
2-(1-Naphthyl)acetamide	92	2	3
3-Hydroxycarbofuran	82	4	6
Acephate	11	39	78
Acetamiprid	78	4	5
Anilofos	100	2	4
Azamethiphos	77	2	19
Bendiocarb	98	8	16
Benzofenap	96	3	3
Bitertanol	105	6	9
Boscalid	96	4	5
Bromacil	66	10	10
Butafenacil	98	2	3
Carbaryl	94	7	12
Carbendazim	87	3	7
Carbofuran	100	5	10
Carboxin	86	4	4
Carpropamid	98	3	5
Chlorfluazuron	96	5	5
Chloridazon	75	6	7
Chloroxuron	98	5	5
Chromafenozide	100	10	10
Clofencet	0	0	96
Clofentezine	65	10	16
Clomeprop	94	4	5
Cloquintocet mexyl	101	2	4
Clothianidin	72	8	10
Coumaphos	100	6	6
Cumyluron	98	3	3
Cyazofamid	95	4	4
Cyflufenamid	99	3	4
Cymoxanil	81	5	15
Cyproconazole	99	2	3
Daimuron	99	4	4
Demeton-S-methyl sulfoxide	77	5	9
Dicrotophos	85	5	9
Difenoconazole	97	2	5
Diflubenzuron	98	4	4
Dimethirimol	89	3	3
Dimethomorph	93	1	3
Dinotefuran	55	12	27
Diuron	93	3	3
Epoxiconazole	96	2	3
Ethiofencarb	95	10	13
Ethiprole	92	8	8
Etobenzanid	99	3	5
Fenamidone	101	3	3
Fenamiphos	99	3	4
Fenbuconazole	96	3	5
Fenobucarb	100	5	10
Fenoxaprop ethyl	94	6	6

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
Fenoxycarb	102	2	4
Fenpyroximate (E)	87	9	14
Fenpyroximate (Z)	104	3	11
Fensulfotion	95	3	4
Ferimzone	96	3	3
Fluacrypyrim	103	3	11
Fluazifop-butyl	96	5	6
Fluazinam	88	6	17
Flufenacet	100	2	4
Flufenoxuron	114	12	18
Fluridone	91	4	4
Flusilazole	101	2	3
Fosthiazate	98	2	4
Furametpyr	95	3	3
Furathiocarb	80	7	11
Hexaconazole	97	2	4
Hexaflumuron	93	18	18
Hexazinone	91	4	4
Hexythiazox	91	6	9
Imazalil	95	7	7
imazamethabenz methyl	94	4	4
Imibenconazole	105	4	6
Imidacloprid	73	7	9
Indanofan	98	3	6
Iprovalicarb	100	2	3
Isoprocarb	96	6	6
Isoxathion oxon	92	4	4
Lactofen	95	6	9
Lenacil	97	3	4
Linuron	100	4	6
Lufenuron	112	5	9
Mandipropamid	94	2	3
Mepanipyrim	96	3	3
Metconazole	99	3	3
Methabenzthiazuron	98	2	3
Methamidophos	64	7	11
Methiocarb	101	5	8
Methoxyfenozide	99	9	17
Mevinphos	89	7	14
Monocrotophos	77	8	10
Monolinuron	98	3	3
Myclobutanil	97	3	4
Naproanilide	100	3	4
Napropamide	98	4	4
Norflurazon	94	2	2
Novaluron	107	8	9
Omethoate	70	9	14
Oryzalin	101	8	15
Oxadixyl	87	3	3
Oxamyl	67	13	17

表 10 (つづき)

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
Oxaziclomefone	101	7	9
Paclobutrazol	98	2	2
Pencycuron	98	3	3
Phenmedipham	87	3	7
Phosphamidon	94	4	7
Phoxim	94	5	11
Pirimicarb	98	3	3
Pretilachlor	99	2	3
Prochloraz	99	4	5
Profenofos	94	3	5
Prometryn	100	4	4
Propamocarb	14	14	16
Propaquizafop	93	5	5
Propetamphos	96	13	13
Propiconazole	95	5	7
Pyraclonil	94	1	3
Pyraclostrobin	99	6	6
Pyriditalid	94	5	5
Pyroquilon	89	4	5
Quinoclamine	90	3	5
Quizalofop ethyl	94	2	3
Simazine	98	3	3
Simeconazole	97	2	4
Simetryn	98	2	3
Spinosyn A	95	10	18
Spinosyn D	95	5	12
Tebuconazole	97	3	3
Tebufenozide	101	18	18
Tebuthiuron	96	4	4
Teflubenzuron	107	3	7
Tetrachlorvinphos	91	7	10
Tetraconazole	97	5	6
Thiabendazole	86	4	5
Thiacloprid	78	5	7
Thiamethoxam	60	9	9
Thifluzamide	104	6	7
Tolfenpyrad	98	3	4
Triadimenol	98	3	4
Tricyclazole	83	4	7
Triflumizole	100	4	7
Triflumizole metabolite	94	5	7
Triflumuron	104	5	12
Triticonazole	96	4	5
XMC	92	10	10

表 11 農薬の妥当性評価試験結果(GC-MS/MS 対象農薬)

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
Acetochlor	93	3	5
Acrinathrin	94	3	5
Alachlor	96	2	4
Aldrin	80	5	5
Ametryn	96	3	6
Atrazine	83	6	6
Azinphos methyl	91	3	6
Azoxystrobin	93	4	5
Benalaxyl	97	3	5
Benfluralin	89	4	5
Benfuresate	94	3	5
Benoxacor	94	4	4
α -BHC	86	3	3
β -BHC	96	4	4
γ -BHC	90	4	4
δ -BHC	94	4	6
Bifenox	96	4	5
Bifenthrin	93	4	6
Bromobutide	92	6	6
Bromopropylate	29	24	36
Bupirimate	96	1	3
Buprofezin	95	5	5
Butachlor	95	2	4
Butamifos	97	5	6
Cadusafos	90	3	6
Cafenstrole	91	5	7
Chlordane (<i>cis</i>)	93	4	5
Chlordane (<i>trans</i>)	96	4	5
Chlorfenapyr	92	9	9
Chlorfenvinphos (<i>E</i>)	82	5	6
Chlorfenvinphos (<i>Z</i>)	89	6	6
Chlorpropham	93	3	4
Chlorpyrifos	91	4	4
Chlorpyrifos methyl	89	3	6
Chlorthal dimethyl	92	6	6
Clomazone	90	5	5
Cyanazine	93	4	4
Cyfluthrin	96	3	4
Cyhalothrin	96	2	4
Cypermethrin	85	5	8
Cyprodinil	95	4	4
<i>p,p'</i> -DDD	95	3	6
<i>p,p'</i> -DDE	92	6	6
<i>o,p'</i> -DDT	93	5	5
<i>p,p'</i> -DDT	93	7	7
Deltamethrin	105	2	4
Diazinon	79	6	12
Dichloran	90	4	5
Dieldrin	93	11	12
Diflufenican	95	3	5

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
Dimethametryn	94	7	8
Dimethenamid	94	6	7
Dimethoate	89	2	3
Dimethylvinphos (<i>E</i>)	47	7	11
Dimethylvinphos (<i>Z</i>)	62	5	9
Disulfoton	91	3	3
Edifenphos	26	10	13
α -Endosulfan	89	14	16
β -Endosulfan	93	3	5
Endrin	93	4	4
EPN	94	5	6
Esprocarb	79	8	9
Ethion	97	4	6
Ethoprophos	84	7	7
Etofenprox	95	5	5
Etoxazole	96	5	5
Fenarimol	62	12	13
Fenitrothion	93	4	4
Fenoxanil	95	3	4
Fenpropathrin	98	5	6
Fenpropimorph	79	5	7
Fenvalerate	94	4	4
Fipronil	95	6	7
Flamprop methyl	97	5	5
Flucythrinate	98	4	5
Fludioxonil	95	3	4
Fluquinconazole	94	4	5
Flutolanil	89	4	4
Fluvalinate	103	3	4
Fthalide	73	7	7
Heptachlor	86	6	6
Heptachlor <i>endo</i> -epoxide	92	6	6
Heptachlor <i>exo</i> -epoxide	92	8	8
Hexachlorobenzene	61	9	9
Indoxacarb	92	4	5
Iprobenfos	97	3	7
Isofenphos	93	4	4
Isofenphos oxon	85	6	8
Isoprothiolane	95	2	3
Isoxathion	93	4	5
Kresoxim methyl	95	5	5
Malathion	77	7	8
Mefenacet	93	4	6
Mefenpyr diethyl	96	4	4
Mepronil	98	3	5
Metalaxyl	94	5	7
Methidathion	95	7	7
Methoxychlor	95	3	5
Metolachlor	94	6	7
Oxadiazon	94	5	5

表 11 (つづき)

分析対象化合物	真度 (%)	併行精度 (RSD%)	室内精度 (RSD%)
Parathion	92	4	4
Parathion methyl	93	4	4
Penconazole	78	6	6
Pendimethalin	94	3	5
Permethrin	92	3	5
Phenothrin	96	4	5
Phenthoate	96	6	6
Phosalone	94	4	5
Phosmet	82	5	7
Piperonyl butoxide	96	5	5
Pirimiphos methyl	95	5	7
Procymidone	95	3	3
Propoxur	95	6	10
Propyzamide	94	6	7
Prothiofos	90	8	8
Pyraclofos	56	6	8
Pyraflufen ethyl	95	3	3
Pyributicarb	97	8	9
Pyridaben	96	3	5
Pyrimethanil	79	3	9
Pyriminobac methyl (E)	94	4	5
Pyriminobac methyl (Z)	97	5	5
Pyriproxyfen	94	3	7
Quinalphos	95	4	5
Quinoxifen	97	3	4
Quintozene	83	3	3
Silafluofen	97	4	5
Tebufenpyrad	97	5	6
Tefluthrin	91	5	6
Terbufos	87	4	5
Tetradifon	95	2	4
Thenylchlor	90	6	6
Thiobencarb	94	3	3
Tolclofos methyl	90	6	8
Triadimefon	92	5	7
Triallate	87	7	14
Triazophos	94	4	4
Tribuphos	84	6	9
Trifloxystrobin	95	6	7
Trifluralin	89	3	3
Vinclozolin	90	4	5

表 12 昆虫食から検出された農薬

試料	昆虫	国	乾燥/冷凍	農薬	分析値 (mg/kg)
23-001	カイコ (さなぎ、まゆ無し)	タイ	乾燥	Ametryn	0.05
				Chlorofenapyr	0.04

表 13 各昆虫食試料中のダイオキシン類異性体の濃度

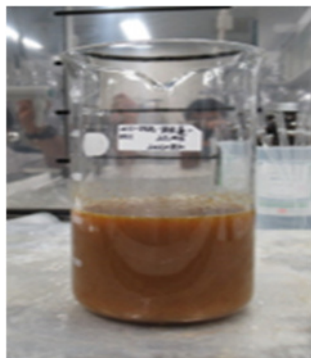
				濃度 (pg/g)		
				23-001 シルクワーム サナギ	23-002 ミルワーム	23-003 ヨーロッパイエ コオロギ
PCDDs	2378-TCDD					0.014
	12378-PeCDD			0.033	0.019	0.019
	123478-HxCDD			0.023		
	123678-HxCDD			0.031	0.061	0.20
	123789-HxCDD			0.023	0.094	0.053
	1234678-HpCDD			0.19	0.14	6.9
	OCDD			0.88	1.4	67
PCDFs	2378-TCDF			0.29	0.024	0.15
	12378-PeCDF			0.14	0.017	0.046
	23478-PeCDF			0.097	0.018	0.045
	123478-HxCDF			0.11	0.023	0.038
	123678-HxCDF			0.097	0.038	0.036
	123789-HxCDF					
	234678-HxCDF			0.076	0.023	0.055
	1234678-HpCDF			0.13	0.033	0.15
	1234789-HpCDF					
	OCDF			0.051		0.11
non-ortho PCBs	33' 44' -TCB	#77	16		1.7	17
	344' 5-TCB	#81	0.85			0.68
	33' 44' 5-PeCB	#126	1.5		0.10	0.43
	33' 44' 55' -HxCB	#169	0.18			
mono-ortho PCBs	233' 44' -PeCB	#105	6.3		2.1	43
	2344' 5-PeCB	#114	1.2			1.9
	23' 44' 5-PeCB	#118	11		5.0	106
	2' 344' 5-PeCB	#123				2.4
	233' 44' 5-HxCB	#156	1.5			13
	233' 44' 5' -HxCB	#157				2.9
	23' 44' 55' -HxCB	#167	1.1			6.6
	233' 44' 55' -HpCB	#189				1.2
Total PCDDs+PCDFs				2.2	1.9	75
Total Co-PCBs				40	9.0	195
Total PCDDs+PCDFs+Co-PCBs				42	11	270

*空欄は検出下限値以下を意味する

表 14 ミルワーム試料を用いた添加回収試験 (n=3)

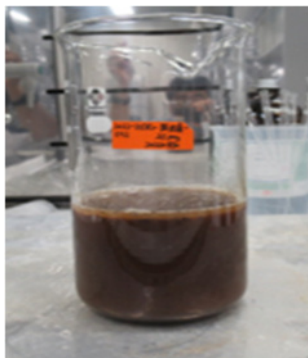
				添加濃度	回收率 (%)				
				(pg/g)	1	2	3	Mean	RSD
PCDDs	2378-TCDD			0.1	103.9	117.0	105.4	108.8	6.6
	12378-PeCDD			0.1	114.3	101.6	103.8	106.5	6.4
	123478-HxCDD			0.2	103.4	98.7	99.5	100.5	2.5
	123678-HxCDD			0.2	105.9	110.5	116.6	111.0	4.8
	123789-HxCDD			0.2	111.5	94.2	96.7	100.8	9.3
	1234678-HpCDD			0.2	114.9	107.4	113.3	111.9	3.5
	OCDD			0.5	92.7	87.5	72.1	84.1	12.7
PCDFs	2378-TCDF			0.1	96.7	78.2	101.4	92.1	13.3
	12378-PeCDF			0.1	100.6	93.4	95.7	96.6	3.8
	23478-PeCDF			0.1	103.2	87.7	100.7	97.2	8.5
	123478-HxCDF			0.2	107.3	112.2	101.8	107.1	4.9
	123678-HxCDF			0.2	103.0	96.0	97.9	99.0	3.7
	123789-HxCDF			0.2	119.6	97.0	109.2	108.6	10.4
	234678-HxCDF			0.2	108.7	122.6	103.7	111.7	8.8
	1234678-HpCDF			0.2	97.1	90.2	96.7	94.7	4.1
	1234789-HpCDF			0.2	98.7	107.4	112.2	106.1	6.4
	OCDF			0.5	96.9	100.9	96.6	98.2	2.5
non-ortho PCBs	33' 44' -TCB	#77	1	94.3	104.8	94.9	98.0	6.0	
	344' 5-TCB	#81	1	110.6	107.6	100.4	106.2	4.9	
	33' 44' 5-PeCB	#126	1	103.2	108.7	98.8	103.6	4.8	
	33' 44' 55' -HxCB	#169	1	101.9	99.5	90.1	97.2	6.4	
mono-ortho PCBs	233' 44' -PeCB	#105	10	113.9	99.0	99.2	104.0	8.2	
	2344' 5-PeCB	#114	10	99.1	94.3	96.1	96.5	2.5	
	23' 44' 5-PeCB	#118	10	103.6	99.9	102.8	102.1	1.9	
	2' 344' 5-PeCB	#123	10	97.3	98.8	92.8	96.3	3.3	
	233' 44' 5-HxCB	#156	10	105.5	107.6	99.8	104.3	3.9	
	233' 44' 5' -HxCB	#157	10	108.3	99.2	105.1	104.2	4.4	
	23' 44' 55' -HxCB	#167	10	105.3	102.1	94.0	100.5	5.8	
	233' 44' 55' -HpCl	#189	10	103.0	93.8	101.8	99.6	5.0	

A. 試料のアルカリ分解終了時



23-001

シルクワームサナギ



23-002

ミルワーム



23-003

ヨーロッパイエコオロギ

B. ヘキサンを添加して振とう後の静置時



23-001

シルクワームサナギ



23-002

ミルワーム



23-003

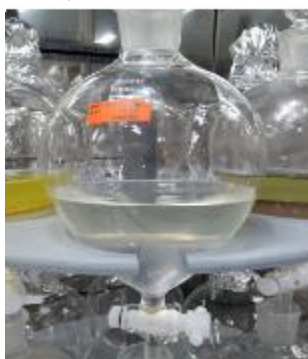
ヨーロッパイエコオロギ

C. 塩化ナトリウム水溶液で洗浄後に硫酸を少量添加し静置時



23-001

シルクワームサナギ



23-002

ミルワーム



23-003

ヨーロッパイエコオロギ

図 7. 試料前処理の写真

課題 2. 微生物・マイコトキシンの汚染実態調査
およびリスク評価

研究分担者 渡辺 麻衣子

令和 5 年度厚生労働科学研究費補助金（食品の安全確保推進研究事業）

「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究

分担研究報告書

微生物・マイコトキシンの汚染実態調査およびリスク評価

研究分担者 渡辺 麻衣子（国立医薬品食品衛生研究所）

研究要旨

国内流通昆虫食の微生物分布およびマイコトキシン汚染の実態を調査するため、今年度はこれらの検出法である培養法、分子生物学的手法、質量分析法などについての性能評価等予備検討を実施した。国内に流通するコオロギ、カイコ、ミルワーム等の昆虫食 12 製品を対象として、培養法による細菌・真菌の網羅的検出を行い、昆虫食での分布程度が高い細菌および真菌種を明らかにして試験法の絞り込みを行った。またそのうち 8 製品については、マイコトキシンの添加回収実験を行っての 7 種マイコトキシンの一斉分析法の性能評価、および寄生虫 DNA の添加回収実験を行ってのリアルタイム PCR 法の性能評価を行った。その結果、真菌では *Aspergillus* 属菌等が検出されたが、健康影響が比較的強いとされるマイコトキシンの産生菌種ではなかった。細菌では、最大で 1.2×10^8 cfu/g であった一方で非検出の製品も複数あり製品毎に生菌数に大きな差があること、今回の調査では複数製品から食中毒と関連のある大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌が検出された。また真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。今回の調査では昆虫食製品からは動物の腸内や土壌等環境に広く存在する細菌群が多く分布したことが示され、昆虫食の喫食による食中毒を防ぐためには、他の食品同様に、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理の重要性が示唆された。マイコトキシン分析法については、7 種マイコトキシン一斉分析法は、一斉に検出可能である利点を活かし食用昆虫におけるマイコトキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。寄生虫のリアルタイム検出法については、供試した全ての昆虫食製品から、低濃度のクリプトスポリジウムまたはジアルジア DNA を昆虫食から検出できることを示した。次年度は今年度の研究成果から示された適した試験法を用いて、昆虫食製品から微生物およびマイコトキシンの汚染実態調査を実施する予定である。

研究協力者

大西 貴弘	国立医薬品食品衛生研究所
吉成 知也	国立医薬品食品衛生研究所
工藤 由起子	国立医薬品食品衛生研究所
清水 公德	東京理科大学
廣田 珠実	東京理科大学

A. 研究目的

近年、人口増加による食糧難や家畜の環境負荷を解決するため、栄養が豊富であり、養殖の際の環境負荷が小さい昆虫食が注目されている。国連が昆虫食を推奨し、また EU では既にコオロギ等が食品として認定され、世界的に昆虫食の流通

量は増加している。昆虫の養殖は真菌・細菌の増殖に適した温度・湿度で行われるため、昆虫食製品にこれらの微生物が混入・増殖する可能性は十分にある。また養殖環境における水や土壌から、ヒトに健康被害を及ぼす寄生虫が昆虫を汚染する可能性も想定する必要がある。これらの微生物が食用昆虫を汚染し、食中毒が起こるリスクがある。その一方で、昆虫食の微生物衛生学的安全性に関わるデータは不足しており、特に日本国内に流通する昆虫食製品を対象とした調査報告は非常に少ない。

昆虫食を含む食品上でマイコトキシン産生菌が増殖した場合に、食品はマイコトキシンに汚染される可能性がある。日本における食品中のマイコトキシンの規制については、リンゴジュース中のパツリン、小麦玄麦中のデオキシニバレノール (DON)、全食品中の総アフラトキシン (アフラトキシン B₁: AFB₁、アフラトキシン B₂: AFB₂、アフラトキシン G₁: AFG₁、アフラトキシン G₂: AFG₂) および乳中のアフラトキシン M₁ に対して規制値又は基準値が設定されている。また、2023 年 12 月に実施された薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会食品規格部会において、オクラトキシン A (OTA) の規制に関する議論がなされ、小麦と大麦について基準値を設定することが了承された。昆虫食でも、これら 7 種のマイコトキシンの汚染実態調査を把握する意義は大きい。

昆虫食を汚染しうる寄生虫については、過去に汚染実態を報告するデータは無いことから、対象候補として、土壌や水を汚染することが知られる寄生虫から、クリプトスポリジウム、赤痢アメーバ、ジアルジア、サイクロスポーラ、トキソプラズマ、エキノコックスといった原虫類を想定した。これらの簡便な培養法は存在しないため、検出には遺伝子検査法を使用する必要がある。

そこで本研究では、国内流通昆虫食の微生物分布およびマイコトキシン汚染の実態を調査するために、今年度はこれらの検出法である培養法、

分子生物学的手法、質量分析法などについての性能評価等予備検討を実施した。

B. 研究方法

(1) 供試検体

国内に流通する昆虫食を対象とした。チャイロコメノゴミムシダマシ 2 製品、フタホシコロギ 1 製品、カイコ 3 製品、モンクロシヤチホコ 1 製品、ヨーロッパイエコロギ 2 製品、ツヤケシオオゴミムシダマシ 1 製品、コガタズメバチ 1 製品、ツムギアリ 1 製品の合計 12 製品を通販サイトにて購入した。供試した昆虫食一覧を表 1 に示した。

(2) 微生物培養法

来年度以降に昆虫食における真菌・細菌汚染実態調査の対象菌を決定するために、今年度は網羅的に分布する菌種を把握する目的で、培養法による網羅的菌検出を行った。

①汚染微生物の分離

各食用昆虫検体 25 g を 225 ml の PBS ×1 と混合し、ストマッカーを用いて 60 秒間懸濁した。これを試験原液とした。試験原液は PBS ×1 を用いて 10 倍段階希釈した後、初期検討として 12 製品中 5 種類の検体については、真菌網羅的分離の目的で dichloran rose-bengal chloramphenicol (DRBC) 培地および dichloran glycerol (DG-18) 培地、細菌網羅的分離の目的で plate count agar (PCA) 培地、pepton glucose-yeast extract agar (PGY) 培地¹⁾、violet red bile glucose agar (VRBG) 培地およびチオグリコレート寒天培地、計 6 種類の平板培地 1 枚ずつに 100 μL 塗抹した。のこりの 7 検体では初期検討結果を参照し、VRBG 培地およびチオグリコレート寒天培地を除いた 4 種類の平板培地 1 枚ずつに 100 μL 塗抹した。DRBC 培地および DG-18 培地は 25°C で 7 日間の好気培養を行った。

PGY 培地は 25℃で 5 日間の好気培養を行った。PCA 培地および VRBG 培地は 37℃で 2 日間の好気培養を行った。チオグリコレート寒天培地は 37℃でアネロパック(三菱ガス化学株式会社)を用いて、添付の実験マニュアルに従い、2 日間の嫌気培養を行った。培養後、生菌数の計測を行った。生育したコロニー数を計測し、平板 1 枚あたりのコロニー形成単位 colony forming unit (cfu) を求めた。さらに培地に接種した希釈液の濃度から、昆虫食 1 g あたりの cfu を算出し、cfu/g の単位を用いて表わした。計測後、各培地上に形成されたコロニーについて、目視で認識できるレベルのコロニーの形態的特徴を指標として分類後、16 株を上限として各グループから網羅的に分離し、同定に供した。

②分離株の分類・同定

真菌は形態学的指標を同定に導入した。分離株コロニーを目視および実体顕微鏡にて観察し、図譜²⁾と比較して同定した。

分子生物学的指標による同定方法については、液体培養した菌体から、真菌では DNeasy mini kit (株式会社 Qiagen) を用いて、細菌では DNA 抽出にはシカジーニウス DNA 抽出試薬 ST (関東化学株式会社) を用いて、DNA を抽出した。これらをテンプレートとして、真菌では rDNA の 18S-ITS1-5.8S-ITS2-28S の部分塩基配列の PCR³⁾、細菌では 16s rDNA の部分塩基配列の PCR^{4,5)}を行い、Big Dye Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit (Thermo fisher Scientific Ltd.) およびキャピラリーシーケンサー 3730 xl DNA Analyzer (Thermo Fisher Scientific Ltd.) を用いて塩基配列のシーケンスを行った。配列決定後、National Center for Biotechnology Information (NCBI) のデータベースに登録された配列との相同性検索を行い、相同率を参照した。真菌では、検出菌がマイコトキシン産生菌であるか否かを検討するためより詳細に同定する必要がある。上述の相同性検索の結果分

離株が *Aspergillus* または *Penicillium* 属であった場合には β -tub 部分塩基配列を、*Fusarium* 属であった場合には EF1- α 部分塩基配列を決定し、NCBI のデータベースに登録された配列との相同性検索を行い、相同率を参照した。

(3) 質量分析法によるマイコトキシン検出法

マイコトキシンの質量分析法では、粉碎した各検体にアフラトキシン類 4 種、DON、OTA およびゼアラレノン (ZEN) の 7 種のマイコトキシンを一定量添加後、イムノアフィニティーカラムによる精製法と LC-MS/MS による検出法を組み合わせた 7 種のマイコトキシンの一斉分析法について、添加回収試験により性能評価を行った。

①検出法

破碎した検体 10 g にアセトニトリル、メタノールと水 (1 : 1 : 2) の混合液 50 mL を加え、30 分間振盪抽出を行った。一部を 50 mL 容のプラスチックチューブに移し、1,710 g で 10 分間遠心分離した。上清 5 mL に PBS 35 mL を加えて混合後、ガラス繊維ろ紙でろ過した。ろ液 20 mL をイムノアフィニティーカラム MaxSignal IAC 4 in 1 (PerkinElmer 社製) に添加後、自然落下で通液した。精製水 3 mL を 6 回カラムに通し、洗浄後、シリンジで残存する水分を除去後、2%の酢酸を含むメタノール 3 mL でマイコトキシンを溶出した。窒素気流により溶出液を乾固した後、1%の酢酸を含む 30%アセトニトリル水溶液 1 mL に溶解後、LC-MS/MS により計 7 種のマイコトキシンを定量した。今回検出対象とした標準品の LC-MS/MS クロマトグラムを図 1 に示した。

<LC-MS/MS の測定条件>

HPLC (LC-20A シリーズ、株式会社島津製作所)

カラム : InertSustain Swift C18 HP

(GL Sciences 社製)

2.1×150 mm, 3 μ m

カラム温度：40 ° C

移動相：A 0.1%ギ酸水溶液

B 0.1%ギ酸含有アセトニトリル

分離条件：0分 A : B = 90 : 10

6分 A : B = 10 : 90

9.5分まで保持

流速：0.2 mL/分

注入量：5 µL

MS (Triple Quad 4500 system、株式会社エービー・サイエックス) ,

イオン化：ESI positive

モニタリングイオン：

AFB1 313 [M+H]⁺ > 241, 213

AFB2 315 [M+H]⁺ > 287, 259

AFG1 329 [M+H]⁺ > 243, 200

AFG2 331 [M+H]⁺ > 313, 189

DON 297 [M+H]⁺ > 249, 203

OTA 404 [M+H]⁺ > 239, 102

ZEN 319 [M+H]⁺ > 283, 187

②添加回収試験

アフラトキシン 4 種 (各 500 µg/L) 、DON (100 mg/L) 、ゼアラレノン (10 mg/L) の 6 種のマイコトキシン混合アセトニトリル溶液を 50 µL ずつ添加回収試験用の検体に添加した。オクラトキシン A ストック溶液 (100 mg/L、トルエン-酢酸 98 : 2) 100 µL とアセトニトリル 900 µL を混ぜ、10 mg/L 溶液を調製した。50 µL を 1.5 mL チューブに採り、遠心濃縮器で乾燥後、1 mL のアセトニトリルに溶かし、オクラトキシン A 添加溶液 (500 µg/L) を調製した。添加回収試験用の検体に、100 µL ずつ添加した。30 分間放置し、溶媒を揮発させた後に①に記載の方法で精製を行った。また、イムノアフィニティーカラムの性能を評価するための比較対象として、精米においても同様の添加回収試験を実施した。

(4) リアルタイム PCR 法による寄生虫検出法

寄生虫の検鏡等による形態学的確認を伴わず簡便な、リアルタイム PCR 法による原虫 DNA の検出系を検討した。今年度はクリプトスポリジウムとジアルジアに対する検査方法を対象とした。

①検出法

クリプトスポリジウムとジアルジアは、遺伝子検査キットが市販されているため、これらのキットが昆虫食で使えるか検討した。クリプトスポリジウムまたはジアルジアの市販検査キットに付属の陽性コントロールプラスミドを粉碎した検体に添加し、キットの説明書に従いここから直接 DNA を抽出した。その後これをテンプレートとして、各検出キットの説明書に従いリアルタイム PCR を行って寄生虫 DNA を検出した。使用キットは、クリプトスポリジウムの検出には Cycleave RT-PCR *Cryptosporidium* (18S rRNA) Detection Kit (株式会社タカラバイオ) を使用した。本キットは、*Cryptosporidium parvum*、*C. hominis*、*C. meleagridis*、*C. canis*、*C. felis*、*C. muris*、*C. andersoni*、*C. baileyi*、*C. bovis*、*C. wrairi* を検出することができる。ジアルジアの検出には Cycleave RT-PCR *Giardia* (18S rRNA) Detection Kit (株式会社タカラバイオ) を使用した。本キットは、*Giardia lamblia*、*Giardia psittaci*、*Giardia microti* を検出することができる。DNA の抽出には、QIAamp DNA mini kit (株式会社 QIAGEN) を使用した。

②添加回収試験

昆虫食検体 300 mg に QIAamp DNA mini kit 付属の Buffer ATL 2.16 mL および Proteinase K 240 µL を加え、検体懸濁液とした。ハチやコオロギは足や針などを含まないように検体を採取した。検体懸濁液を 2 mL チューブに 200 µL ずつ分注した (検体 25 mg/チューブ)。各チューブに $2 \times 10^1 \sim 2 \times 10^5$ copy の陽性コントロールプラスミド

(検出キットに付属)を添加した。その後、56°C、2時間加熱し、検体を溶解し、1,000rpm、5分間の遠心処理を行い、上精を回収した。回収した上精から、QIAamp DNA mini kit の説明書に従い DNA を抽出した。抽出した DNA 溶液 5 μ L を用い、各検出キットの説明書に従い寄生虫 DNA を検出した。検出結果から、昆虫食検体を用いた場合の各キットの検出感度を求めた。

C. 研究結果

(1) 微生物培養法

各昆虫食製品の cfu を算出した結果を図 2 に示した。細菌では、一般細菌数はミルワームで最も多く 1.2×10^8 cfu/g、ツムギアリで非検出であった。昆虫食では、製品毎に生菌数に大きな差があり、真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。

PGY 培地および PCA 培地で分離した細菌 242 株の同定を行った結果を図 3 および図 4 に、VRBG 培地およびチオグリコレート寒天培地で分離した細菌の同定結果を図 5 および図 6 に示した。今回の調査では 5 製品から食中毒と関連のある大腸菌群が検出された。また、*Staphylococcus* 属菌は PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 36.4% を占めており、*Bacillus* 属菌は PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 10.0% を占めていた。PGY 培地で検出された個々の検体における細菌叢では、ヨーロッパイエコオロギ 1 製品で *Bacillus* 属菌が、カイコ 1 製品で *Staphylococcus* 属菌が 100% を占めており高率に検出された。一部の製品からは、16S rDNA 塩基配列の相同性を指標とした範囲で *Staphylococcus aureus* (黄色ブドウ球菌) および *Bacillus cereus* (セレウス菌) と推定される菌株が単離された。大腸菌群は、PCA 培地および PGY 培地で検出された細菌全体の 13.2% を占めていたが多くの食中毒事例の無い大腸菌群の属であった。しかし中には食中毒事例のある大腸

菌群として、16S rDNA 部分塩基配列の相同性検索結果に基づく範囲で *Cronobacter sakazakii*、*Enterobacter cloacae* および *Escherichia coli* と推定される菌株が検出された。食中毒事例のあるこれらの種の細菌類を含めた大腸菌群は、健康なヒトや動物の腸管内や土壌等環境中に広く分布することが知られ、通常、農作物や畜産物から検出されることもあり、これらの食品と同等の結果であると言える。

DG-18 培地および DRBC 培地で単離した真菌 78 株の rDNA 部分塩基配列に基づいた同定を行った結果を図 7 および図 8 に示した。今回検出された酵母は単離された真菌全体の 72% を占めた。また、マイコトキシン産生菌種を含む *Aspergillus* 属、*Penicillium* 属および *Fusarium* 属はミルワームやコガタスズメバチから計 4 株検出された。これらの分離株を種レベルまで同定した結果、*Aspergillus chevalieri*、*Fusarium oxysporum*、*Penicilium spinulosum* および *Penicilium olsowii* と同定され、これらは毒性の強いマイコトキシン産生性は知られていない菌種であることを把握した(表 2)。

(2) 質量分析法によるマイコトキシン検出法

食用昆虫 8 検体と精米について、アフラトキシン 4 種 : それぞれ 2.5 μ g/kg、DON : 500 μ g/kg、OTA : 5 μ g/kg、ZEN : 50 μ g/kg となるよう標準品を添加した試料から、マイコトキシンの抽出を行った。抽出液をイムノアフィニティーカラムで精製後、LC-MS/MS により 7 種のマイコトキシンを一斉に定量し、回収率を算出した(表 3)。食用昆虫 8 試料における AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂、DON、OTA および ZEN の回収率は、それぞれ 39~60%、41~58%、26~57%、23~54%、72~103%、48~78% および 47~78% の範囲内であった。また、標準品のクロマトグラムから各マイコキシンの S/N を得て、S/N=10 に相当する濃度を算出

し、試料中の濃度に換算した値を定量限界値とした（表 4）。

(3) リアルタイム PCR 法による寄生虫検出法

多くの検体で、クリプトスポリジウム、ジアルジアともに検出限界は 2×10^2 copy/25 mg 検体であった（表 5）。23-003 および 23-007 のクリプトスポリジウムの検出限界は 2×10^3 copy/25 mg 検体であった。23-004 のクリプトスポリジウムの検出感度は 2×10^4 copy/25 mg 検体であった。

D. 考察

真菌および細菌の検出結果については、昆虫食製品毎に生菌数には大きな違いがあること、また真菌よりも細菌の生菌数が高い傾向にあることが示された。さらに、真菌では酵母、細菌では大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌が多く分布していたことが明らかとなった。これらには食中毒の原因となり得る菌種も含まれるが、環境中に普遍的に存在する微生物であり、他の食品からも検出される事例は多いことから、それらと比べて特段昆虫食で注意が必要という状況ではなく、昆虫食の喫食による細菌性食中毒防止のために、他の食品同様に、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理の重要性が示唆された。次年度以降は、食中毒関連菌として、真菌では *Aspergillus* 属、*Penicillium* 属および *Fusarium* 属菌、細菌では大腸菌群、*Bacillus* 属菌および *Staphylococcus* 属菌に着目し、汚染実態調査を実施する予定である。

マイコトキシンの検出法については、Codex の Procedural Manual における回収率のクライテリアは、分析対象の濃度が 10 $\mu\text{g/kg}$ で 60~115%、100 $\mu\text{g/kg}$ ~10 mg/kg で 80~110%とされている。アフラトキシン 4 種と OTA については 10 $\mu\text{g/kg}$ のクライテリアを参考にとすると、アフラトキシン 4 種では 8 試料全てで、OTA では 3 試料で回収率下限を下回った。DON と ZEN については 100

$\mu\text{g/kg}$ ~10 mg/kg のクライテリアを参考にとすると、DON では 2 試料で、ZEN では 8 試料全てで回収率の下限を下回った。一方で、精米においては 7 種のマイコトキシンの回収率はクライテリアの範囲内に収まった。今回精製に用いたイムノアフィニティーカラムの適用は、穀類、ナッツ、飼料となっている。食用昆虫には一般的な穀類や飼料とは異なる夾雑物質が含まれており、それらがマイコトキシンと抗体の結合を阻害した可能性などが考えられた。定量限界値については、各マイコトキシンの規制値又は基準値{総アフラトキシン：10 $\mu\text{g/kg}$ 、DON：1 mg/kg、OTA (Codex 規格)：5 $\mu\text{g/kg}$ }と比較すると十分に小さいことから、回収率が 20~60%であったとしても法律上問題となるレベルのマイコトキシンが混入しているかどうかは判断できる。これらのことから、今回開発した分析法は、アフラトキシン類や ZEN について十分な回収率が得られなかったが、DON と OTA については比較的良好であると言え、7 種のマイコトキシンを一斉に検出可能である利点を活かした食用昆虫におけるマイコトキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。次年度以降はこの一斉分析法を用い、食用昆虫におけるマイコトキシンの汚染実態調査する予定である。

寄生虫の検出法については、今回は、市販キットを用い昆虫食中のクリプトスポリジウムとジアルジア DNA の検出を試みた。両キットとも水中の寄生虫の検出用であったが、昆虫食のように非常に多くの夾雑物を含む検体からも、寄生虫 DNA を高感度に検出することができた。クリプトスポリジウムは、検出限界 2×10^2 copy/25 mg ~ 2×10^4 copy/25 mg で検出することができた。ジアルジアは、 2×10^2 copy/25 mg ~ 2×10^3 copy/25 mg で検出することができた。クリプトスポリジウム 1 オーストの copy 数は約 18,000 であり⁶⁾、ジアルジアのシスト 1 個あたりの copy 数は約 1,600 であると考えられている^{A)}。これらのこと

から、今回の方法では理論上、クリプトスポリジウムは検体 25 mg あたり 0.01~1.3 個 (1g あたり 0.4 ~52 個) のオーシストを検出することができると考えられた。ジアルジアは、検体 25 mg あたり 0.13 個~1.25 個 (1g あたり 5.2 個~52 個) のシストを検出することができると考えられた。次年度以降は、サンプリングプランを作成し、本検査法を用いて、昆虫食中のクリプトスポリジウムとジアルジアの汚染状況を調査したい。また、本研究で対象とした他の寄生虫の検査法を確立する予定である。

E. 結論

今回の調査では、昆虫食製品からは動物の腸内や土壌等の環境中に広く存在する細菌群および酵母群が多く分布したことが示されたが、それらは他の食品からも検出される事例は多いことから、特段昆虫食で注意が必要という状況ではなく、他の食品同様に、一部の食中毒菌の汚染リスクに留意し、昆虫食の喫食による食中毒を防ぐため、養殖や加工、保存、調理等の各工程の衛生管理が重要であることが示唆された。次年度以降は、今年度汚染があることが明らかとなった食中毒関連菌について、昆虫食製品中の汚染実態調査を実施する予定である。また、昆虫食分析に適用するため、日本において規制が行われているマイコトキシン分析法としてイムノアフィニティーカラムによる精製法と LC-MS/MS による検出法を組み合わせた 7 種のマイコトキシンの一斉分析法の性能評価を行った結果、本法は一斉に検出可能である利点を活かし、食用昆虫におけるマイコトキシンのスクリーニングには利用できると考えられた。次年度以降はこの一斉分析法を用い、昆虫食製品におけるマイコトキシンの汚染実態調査する予定である。さらに、市販キットを用いて、昆虫食からクリプトスポリジウムとジアルジア検出法の性能評価を行った結果、本法は昆虫食からこれらの原虫を低濃度でも検出することが

可能であった。次年度以降は、本検査法を用いての昆虫食製品中のクリプトスポリジウムおよびジアルジアの汚染実態調査、および他の寄生虫の検査法確立を行う予定である。

F. 参考文献

- 1) 上水試験方法 2020 年版. 日本水道協会, 2021
- 2) Samson RA, Hoekster ES, Frisvad JC, 2004. Introduction to food and airborne fungi seventh edition. ASM Press, Washington.
- 3) 大楠清文, 江崎孝行, 2009. 分子系統解析に基づいた細菌の分類と同定. *Sysmex Journal Web* Vol. 10 No.2.
- 4) White, TJ., Bruns, T., Lee, S., et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. In *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*. Edited by: Innis MA, Gelfand DH, Sninsky JJ. White TJ: Academic Press. pp. 315-322 (1990)
- 5) O'Donnell, K. *Fusarium and its near relatives*, in *The Fungal Holomorph: Mitotic, Meiotic and Pleomorphic Speciation in Fungal Systematics*, ed. by Reynolds DR and Taylor JW. CAB International, Wallingford, UK. pp. 225-233 (1993).
- 6) 平成 23 年度厚生労働科学研究「水道における水質リスク評価および管理に関する総合研究」クリプトスポリジウム等検査における遺伝子検査法の定量に関する検討.

G. 研究業績

【論文発表】

該当なし

【学会発表】

廣田珠実, 渡辺麻衣子, 清水公德, 工藤由起子, 志田(齊藤)静夏. 国内流通昆虫食における微生物分布実態調査. 日本マイコトキシン学会第 90 回学術講演会.

H. 知的財産権の出願・登録状況
該当なし

表 1. 本研究で供試した昆虫食一覧

検体	昆虫名(学名)	昆虫名(和名)	製品の状態	販売前 加熱の 有無
in02	<i>Tenebrio molitor</i>	チャイロコメノゴミムシダマシ	冷凍	無
in03	<i>Glyllus bimaculatus</i>	フタホシコオロギ	冷凍	無
in04	<i>Bombyx mori</i>	カイコ	冷凍	無
in05	<i>Phalera flavesceus</i>	モンクロシャチホコ	冷凍	無
23-001	<i>Bombyx mori</i>	カイコ	姿のまま乾燥	有
23-002	<i>Tenebrio molitor</i>	チャイロコメノゴミムシダマシ	姿のまま乾燥	有
23-003	<i>Acheta domestica</i>	ヨーロッパイエコオロギ	粉末、乾燥	有
23-004	<i>Acheta domestica</i>	ヨーロッパイエコオロギ	冷凍	無
23-005	<i>Bombyx mori</i>	カイコ	冷凍	無
23-006	<i>Zophobas atratus</i>	ツヤケシオオゴミムシダマシ	冷凍	無
23-007	<i>Vespa analis insularis</i>	コガタスズメバチ	冷凍	無
23-009	<i>Oecophylla smaragdina</i>	ツムギアリ	冷凍	不明

表 2. 検出された真菌株の同定結果

サンプル	培地	種名	主な分布域
in02	DRBC	<i>Fusarium oxysporum</i>	食品、植物、土壌環境など
in03	DG-18	<i>Aspergillus chevalieri</i>	麴、海洋
23-007	DRBC	<i>Penicilium spinulosum</i> または	穀物や小麦、肉などの食品
23-007	DRBC	<i>Penicilium citreosulfuratum</i>	サフランなどの植物
23-007	DRBC	<i>Penicilium olsowii</i>	トマト、ブドウなどの果実

表 3. 食用昆虫を用いた添加回収試験における 7 種のマイコトキシンの回収率

検体名	各カビ毒の回収率（平均値±標準偏差、%）						
	AFB ₁	AFB ₂	AFG ₁	AFG ₂	DON	OTA	ZEN
23-001	60 ± 6.6	53 ± 6.9	50 ± 6.9	43 ± 7.4	89 ± 7.5	48 ± 11.7	48 ± 3.4
23-002	54 ± 3.2	58 ± 2.9	57 ± 1.0	54 ± 2.0	103 ± 0.80	65 ± 1.1	62 ± 1.1
23-003	46 ± 0.74	46 ± 1.5	50 ± 1.0	47 ± 2.1	95 ± 1.2	61 ± 1.5	47 ± 1.2
23-004	47 ± 2.1	41 ± 1.9	42 ± 1.7	33 ± 3.7	90 ± 1.0	69 ± 1.4	47 ± 0.53
23-005	39 ± 1.2	42 ± 1.9	26 ± 3.5	23 ± 1.5	72 ± 1.5	51 ± 3.4	66 ± 1.8
23-006	52 ± 1.3	48 ± 2.4	45 ± 0.88	42 ± 3.7	87 ± 1.8	73 ± 0.65	51 ± 2.3
23-007	58 ± 2.7	44 ± 1.4	44 ± 1.7	48 ± 0.44	73 ± 2.6	78 ± 0.12	76 ± 2.6
23-009	59 ± 0.41	58 ± 1.5	55 ± 2.2	47 ± 2.7	91 ± 3.6	56 ± 1.2	78 ± 2.1
精米	75 ± 1.9	73 ± 5.2	72 ± 6.5	75 ± 5.8	99 ± 5.1	74 ± 6.9	96 ± 1.4

表 4. 7 種のマイコトキシンの定量限界値

カビ毒	定量限界値 (µg/kg)
AFB ₁	0.03
AFB ₂	0.05
AFG ₁	0.04
AFG ₂	0.2
DON	1
OTA	0.02
ZEN	1

表 5. 昆虫食中の寄生虫 DNA の検出感度

検出感度 (copy数/25 mg検体)	検体名							
	23-001	23-002	23-003	23-004	23-005	23-006	23-007	23-009
Cryptosporidium	2×10^2	2×10^3	2×10^3	2×10^4	2×10^2	2×10^2	2×10^3	2×10^2
Giardia	2×10^2	2×10^2	2×10^2	2×10^3	2×10^2	2×10^2	2×10^2	2×10^2

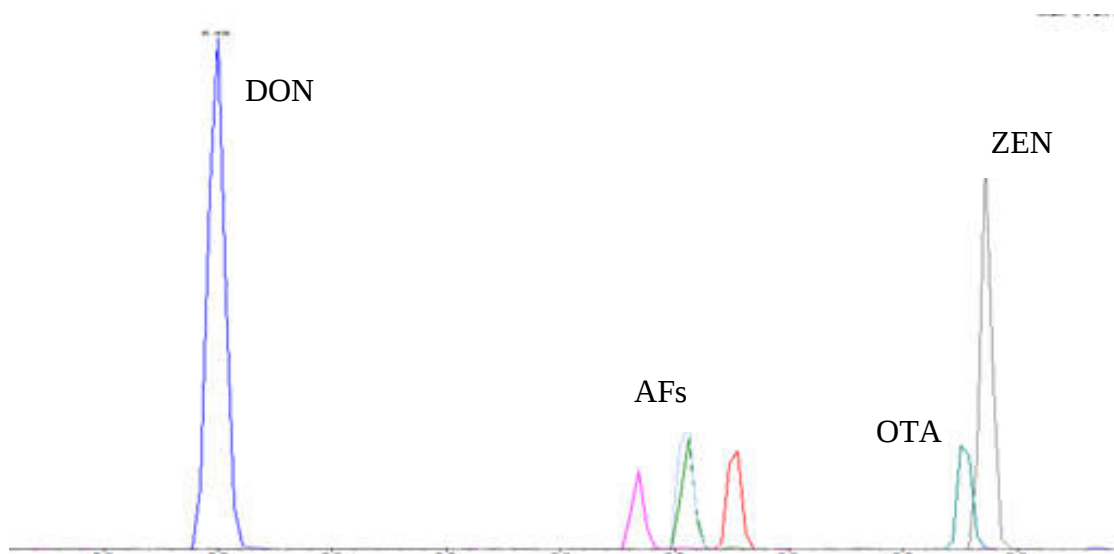


図 1. 検出対象とした標準品の LC-MS/MS クロマトグラム

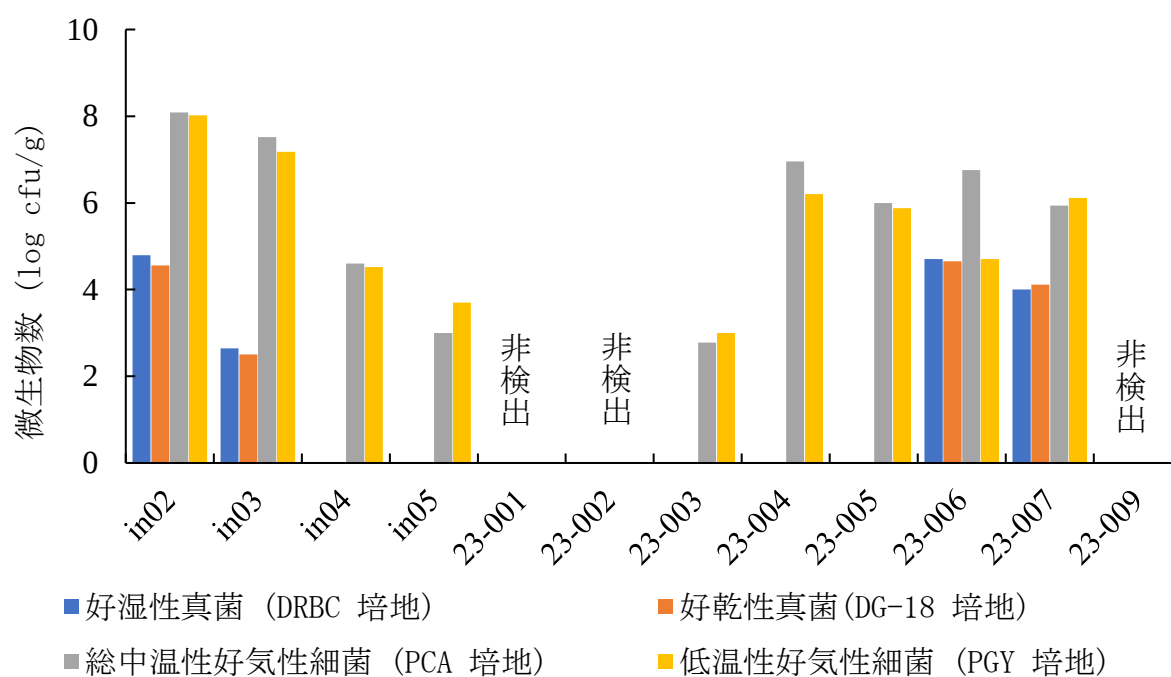
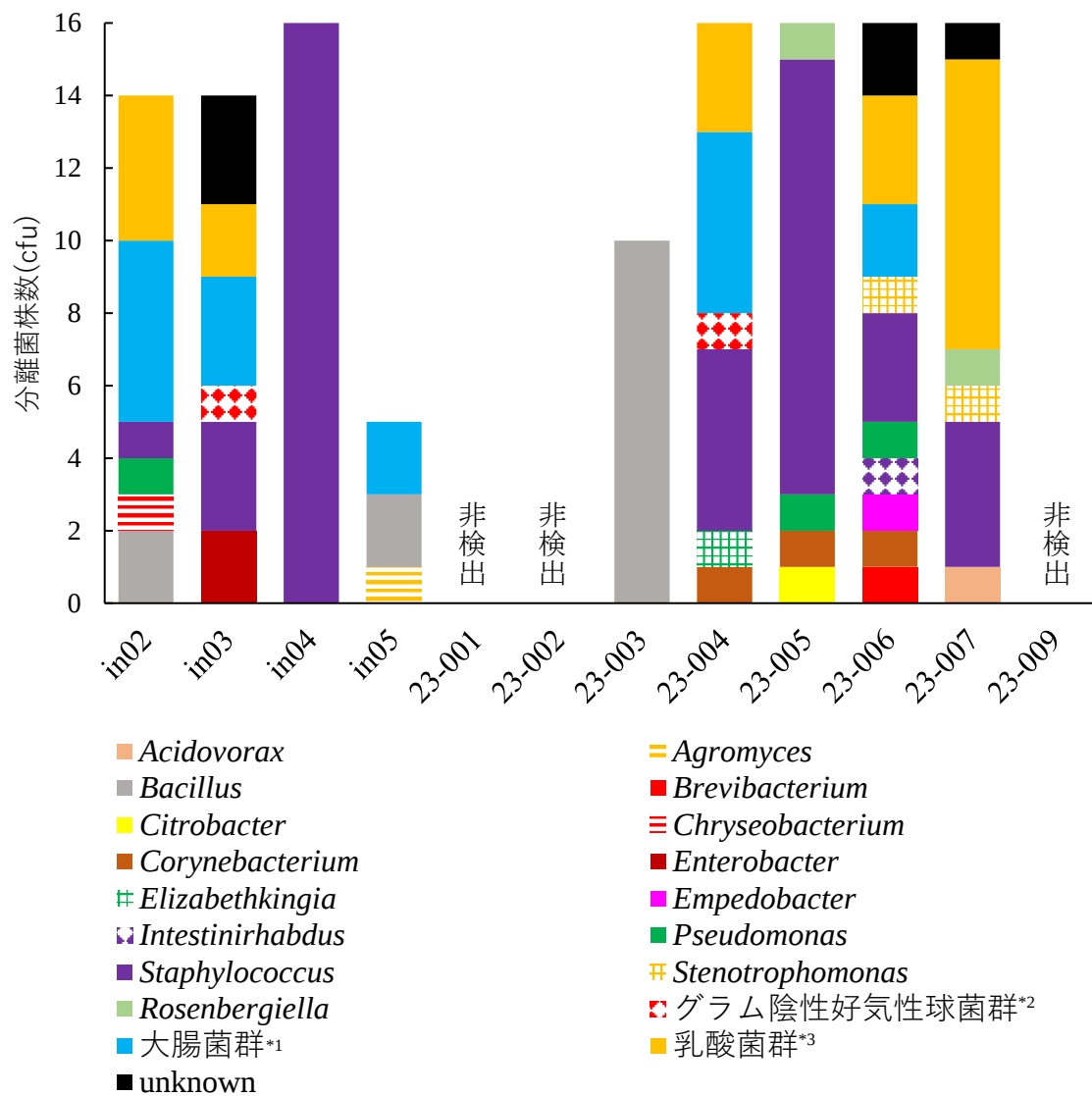


図 2. 食用昆虫サンプル 1 g あたりの生菌数

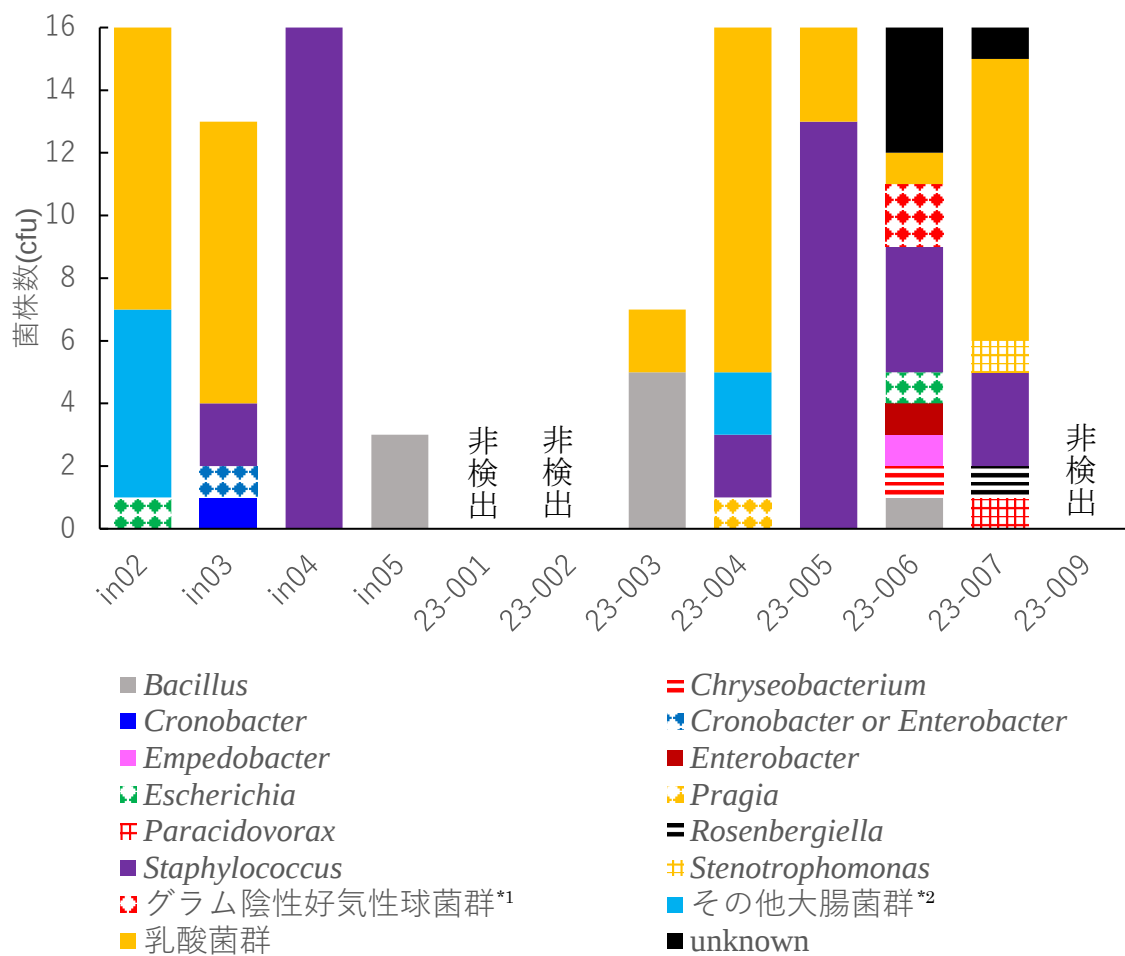


*1 *Cronobacter* 属、*Enterobacter* 属、*Escherichia* 属、*Hafnia* 属、*Klebsiella* 属、*Kluyvera* 属、*Serratia* 属、*Pantoea* 属

*2 *Acinetobacter* 属、*Moraxella* 属（食中毒事例は無し）

*3 *Enterococcus* 属、*Pediococcus* 属、*Lactococcus* 属、*Latilactobacillus* 属、*Leuconostoc* 属、*Weissella* 属

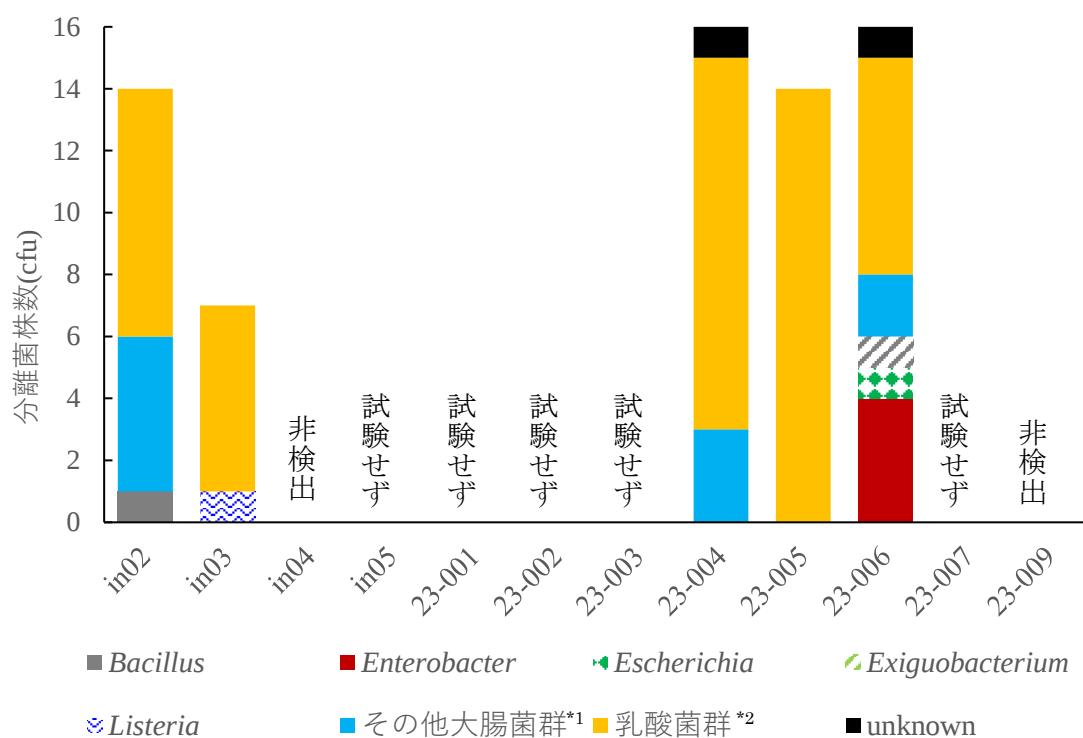
図 3. PGY 培地にて検出された細菌属



*1Enterococcus 属、Pediococcus 属、Lactococcus 属、Latilactobacillus 属、Leuconostoc 属、Weissella 属

*2Hafnia 属、Klebsiella 属、Kluyvera 属、Serratia 属、Pantoea 属

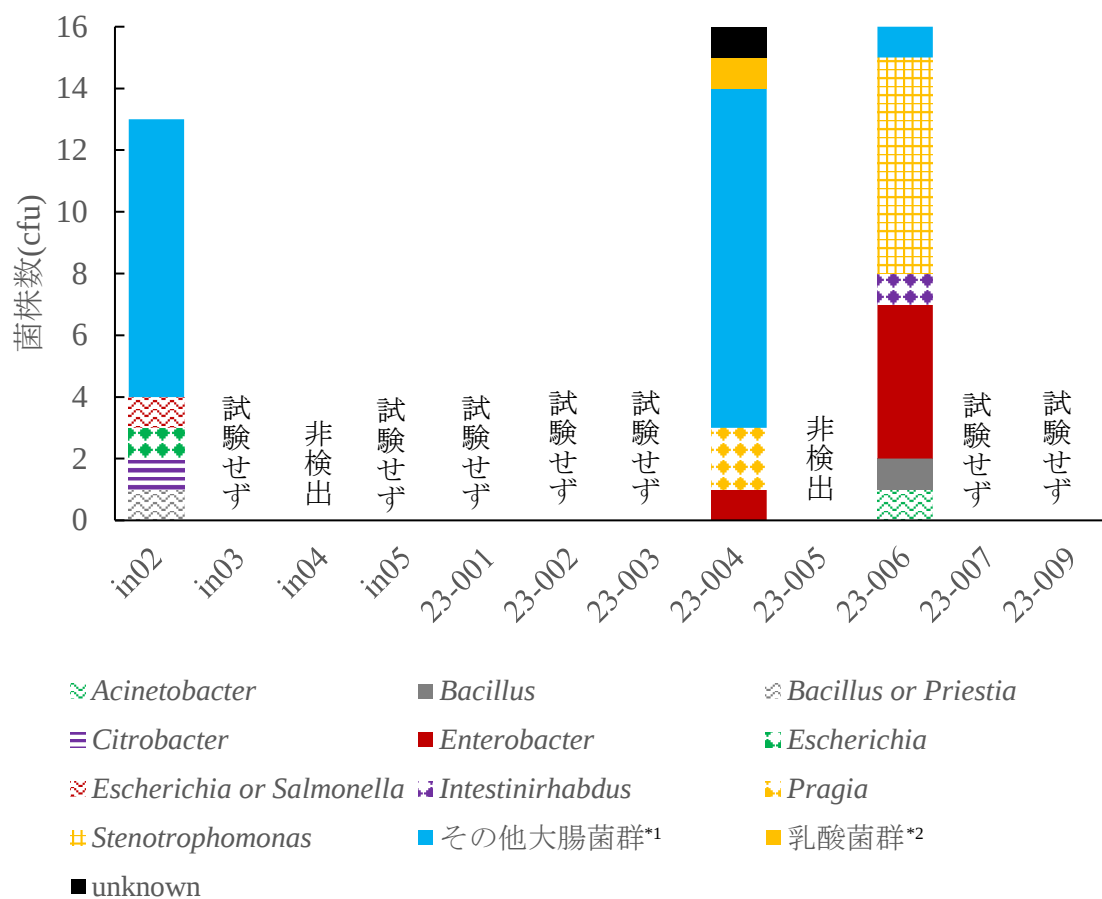
図 4. PCA 培地にて検出された細菌属



*¹Hafnia 属、Klebsiella 属、Kluyvera 属、Serratia 属、Pantoea 属

*²Enterococcus 属、Pediococcus 属、Lactococcus 属、Latilactobacillus 属、Leuconostoc 属、Weissella 属

図 5. チオグリコレート寒天培地にて検出された細菌属



*1Hafnia 属、Klebsiella 属、Kluyvera 属、Serratia 属、Pantoea 属

*2Enterococcus 属、Pediococcus 属、Lactococcus 属、Latilactobacillus 属、Leuconostoc 属、Weissella 属

図 6. VRBG 培地にて検出された真菌の属

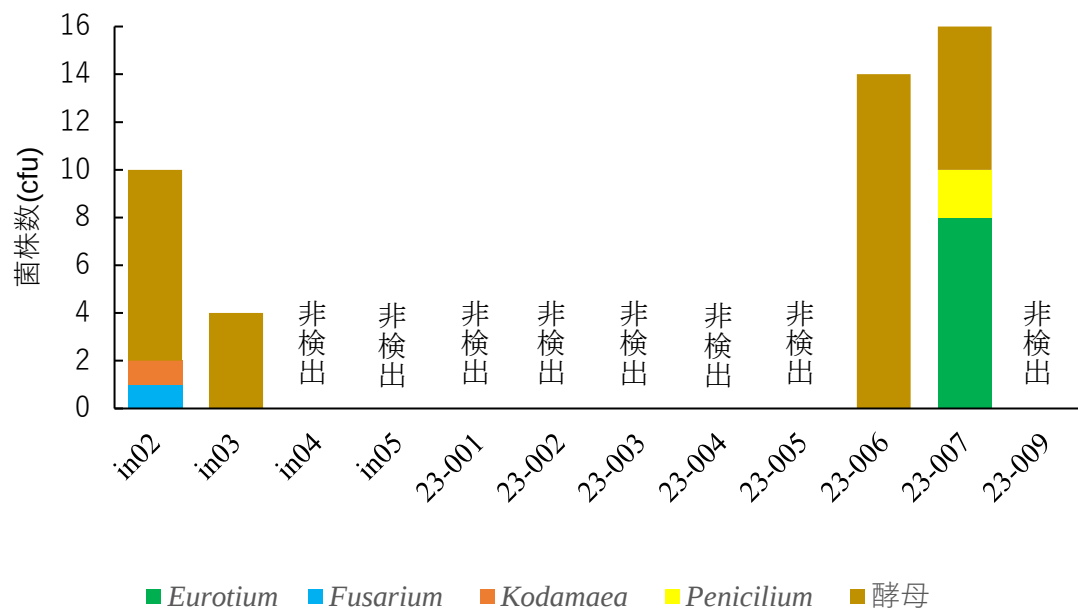


図 7. DRBC 培地にて検出された真菌属

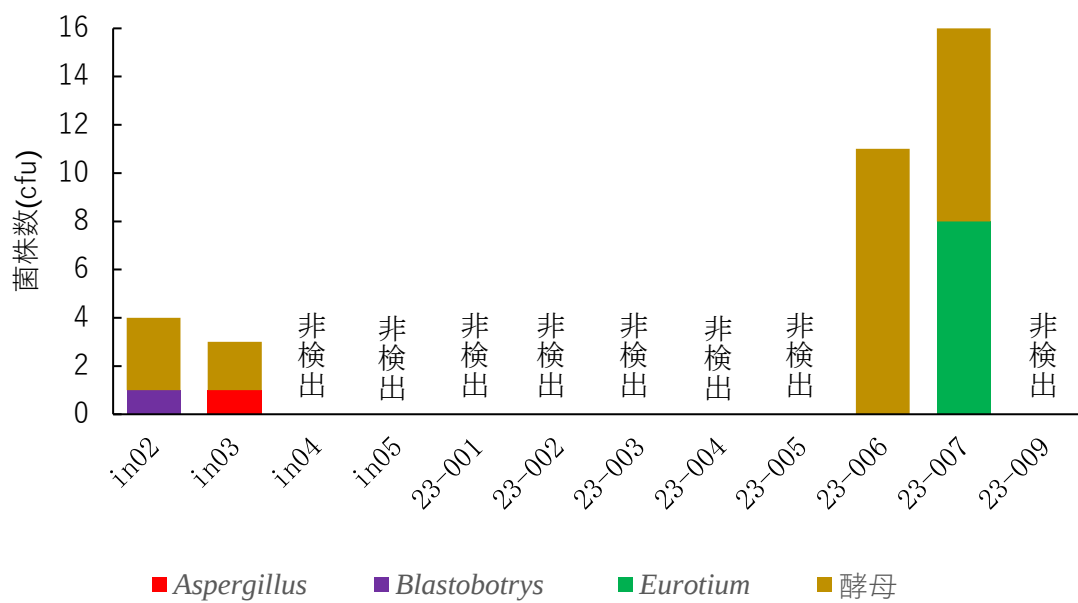


図 8. DG-18 培地にて検出された真菌属

課題 3．昆虫食のアレルゲン性に関する検討

研究分担者 安達 玲子

厚生労働科学研究費補助金（食品の安全確保推進研究事業）
「昆虫食」における大規模生産棟産業化に伴う安全性過酷のための研究」
分担研究報告書（令和5年度）

昆虫食のアレルゲン性に関する検討

研究分担者： 安達 玲子 国立医薬品食品衛生研究所 生化学部 第二室長
研究協力者： 爲廣 紀正 国立医薬品食品衛生研究所 生化学部 第三室長

研究要旨

甲殻類の主要アレルゲンタンパク質は昆虫類のアレルゲンタンパク質と交差反応性を示すことから、昆虫食は甲殻類アレルギー患者においてアレルギー症状を誘発する可能性がある。本課題では、国内で現在市販されている昆虫食のアレルゲン性について甲殻類主要アレルゲン（トロポミオシン）との交差反応性、ならびにアレルギー患者血清との反応性、そして加工工程におけるアレルゲン性の変化について検討する。本年度は、公定検査法として定めている甲殻類アレルゲンの定量検査法（ELISA 法）を用いて、昆虫食に含まれるタンパク質の交差反応性について検討した。昆虫の種類や加工度が異なる12検体を解析に供したところ、すべての検体において甲殻類トロポミオシン特異的抗体が認識するタンパク質が含まれていた。今後、甲殻類アレルギー患者血清を用いた検討を中心に、昆虫食に含まれるタンパク質の健康被害に与える影響について、さらなる科学的知見を集積することが必要と考えられる。

A. 研究目的

2013年に国際連合食糧農業機構(FAO)が発表した報告書において、多くの昆虫はタンパク質やミネラル等が豊富であり、食用等に利用する上でも環境への負担が少ないこと等が公表されたことにより、昆虫食は人口増加による食糧不足を補う食糧源として注目されている。このため、欧州では持続可能な開発目標(SDGs)の取り組みとして事業化に向けた技術整備や安全性試験が進められており、日本でも2020年頃から市場規模が徐々に拡大している。

昆虫食が新たなタンパク源として注目される中、昆虫には甲殻類に似たアレルゲンが含まれており、「えび」や「かに」にアレルギーを持つ人ではアレルギー反応を引き起こす可能性がある」と指摘されている。また、国内において、昆虫を喫食したことによるアナフィラキシー

症状を呈した症例の報告があり、海外では同様のアナフィラキシー発症事例が多数報告されている。したがって、昆虫食に対する需要の拡大は、国民に健康被害の生じる懸念が残るため、安全性に関する研究を進展させ、毒性にかかわる科学的知見を収集することが望まれる。

昆虫食のアレルゲンは、甲殻類のアレルゲンと構造が非常によく似た相同タンパク質が含まれている。主要アレルゲンの一つにトロポミオシンがあり、これは熱に強い性質をもつため、加熱調理してもアレルギー反応を引き起こす可能性が残る。研究分担者である安達らは、昆虫を原料とする健康食品には甲殻類トロポミオシン特異的抗体が反応するタンパク質が含まれていること、そして、甲殻類アレルギーの患者が昆虫食を喫食することにより、アレルギー症状が誘発される可能性があること等をこ

れまで示してきた。そこで、本分担研究では、国内で現在流通している市販昆虫食のアレルゲン性について甲殻類主要アレルゲン（トロポミオシン）との交差反応性、ならびにアレルギー患者血清との反応性、そして加工工程におけるアレルゲン性の変化について検討する。

食物アレルゲンを含む加工食品は、食品表示法にてアレルゲンの表示が義務付けられており、表示を検証するための公定検査法が定められている。令和5年度は、公定検査法を用いて、入手可能な昆虫食12検体について、昆虫食に含まれるタンパクの甲殻類アレルギーにおける交差反応性を検証した。

B. 研究方法

検体

国内で市販されている昆虫食製品 12 種類を入手し、検体として使用した（表 1）。

甲殻類 ELISA キットによる測定

アレルゲンを含む食品の表示制度における義務表示品目であるえび・かにの表示を検証するための ELISA キット 2 種（FA テスト EIA-甲殻類（島津ダイアグノスティクス（株）製、以下 S キット）、及び、甲殻類キット II「マルハニチロ」（マルハニチロ（株）製、以下 M キット）を用い、上記の昆虫食 12 検体について各キットにおける反応性を検討した。検体からのタンパク質抽出に関しては、通常の方法（室温で一晩（12 時間以上）振とう）に加えて、昆虫が含有するプロテアーゼによるタンパク質分解の可能性を考慮し、プロテアーゼ阻害剤（Halt Protease Inhibitor Cocktail（Thermo Fisher Scientific 社製））を添加する方法、及び加熱抽出法（100℃、30 分）も合わせて検討した。

C. 結果

検体としては、日本国内において通信販売等で入手可能な市販の昆虫食製品 12 種類を使用した（表 1）。カイコ、ミルワーム、コオロギ、

ハチ、アリ、及びバッタを原料とし、本来の形状のままの冷凍品や乾燥品、あるいはパウダー状の製品、また、加熱された製品あるいは非加熱の製品等、多様な製品を選択した。

甲殻類アレルゲンと昆虫アレルゲンとの間には交差反応性が見られることが知られている。また、わが国の食品表示制度における「アレルゲンを含む食品の表示」では、甲殻類であるえび及びかにが義務表示品目に指定されており、その表示を検証するためのスクリーニング検査法として 2 種類の ELISA キット（S キット及び M キット）が指定されている。これら 2 種類の ELISA キットでは、甲殻類の主要アレルゲンであるトロポミオシンに対するモノクローナル抗体及びポリクローナル抗体が使用されている。従って、これらの甲殻類 ELISA キットに対して反応性を示す昆虫食製品は、甲殻類アレルギー患者のトロポミオシンに対する IgE 抗体に結合しアレルギー症状を誘発する可能性が考えられる。そこで、これらの甲殻類 ELISA キットに対する各検体の反応性を検討した。その際、昆虫が含有するプロテアーゼによるタンパク質分解の可能性を考慮し、検体からのタンパク質抽出に関しては、キット取扱説明書に記載されている通常の方法（室温で一晩（12 時間以上）振とう）に加えて、プロテアーゼ阻害剤を添加する方法、及び、加熱抽出法（100℃、30 分）も合わせて検討した。加熱抽出法は、プロテアーゼを多く含有する非加熱のえび・かにを検体とする際に推奨されている方法である（「生のえび、かに（非加熱の乾燥品を含む）測定用推奨プロトコール— 抽出操作」

（<https://industrial-diagnostics.biz.sdc.shimadzu.co.jp/products/pickup/fa-test-eia/>）参照）。

3 種の抽出方法を用いた 12 検体の測定結果を表 2 及び図 1 に示す。（定量値はえびタンパク質を標準として算出された値であり、昆虫トロポミオシンの定量値ではない。）S キットでは全ての検体で反応が見られた。一方 M キット

ではSキットと比較して反応性が低かった。検体からのタンパク質抽出に関してプロテアーゼ阻害剤の効果は特に見られなかった。一方、加熱抽出の場合、他の抽出方法と比較して大きな測定値が得られた。

そこで、検体からのタンパク質抽出方法として加熱抽出法を採用し、ELISA キットにおける測定結果の再現性について検討した。表3及び図2に、3回の測定結果の平均値及び標準偏差（SD）を示す。SDの大きな検体もあったが、Sキット、Mキットともに測定結果の再現性が確認された。検体の種類や加工工程における加熱／非加熱との相関は特に見られなかった。

D. 考察

本研究では、甲殻類アレルゲンと昆虫アレルゲンの交差反応性の1つの指標として、甲殻類の主要アレルゲンであるトロポミオシンに対する抗体を用いたELISAキットにおける昆虫食検体の反応性について検討した。12種類の市販の昆虫食製品について検討したところ、どの検体においても甲殻類ELISAキットにおける反応性が確認されたことから、これらの製品が甲殻類アレルギー患者においてアレルギー症状を誘発する可能性があることが示された。

使用した2種類のELISAキットを比較したところ、Sキットの方がMキットよりも大きな測定値が得られた。これは、筆者らが以前報告した、甲殻類ELISAキットにおける蜂の子及び蟻を原材料とする健康食品の反応性の検討結果と同様であり（参考論文参照）、2種類のELISAキットで使用されている抗体の特性の違いによるものと考えられる。

検体からのタンパク質抽出において、プロテアーゼ阻害剤の効果は特に見られなかったことから、今回使用した検体に関してはプロテアーゼの影響を特に考慮する必要はないと考えられた。一方、加熱抽出を行った場合に甲殻類ELISAキットでの測定値が最も大きかった。トロポミオシンは線維状のアクチン結合タンパ

ク質であり、2本の α ヘリックスからなるコイルドコイル構造をとっている。これまでに、加熱によって、 α ヘリックスがほどける、溶解性が増大する等の報告があることから、加熱抽出ではトロポミオシンの溶解性の増大がELISA測定値の増大につながったのではないかと考えられる。

今後は、甲殻類アレルギー患者血清を使用し、ウェスタンブロッティングやヒト化培養マスト細胞活性化試験等を実施し、昆虫食によりアレルギー症状が誘発される可能性について検討を進めるとともに、加熱等の加工によるアレルゲン性の変化についても解析を行う予定である。

E. 結論

甲殻類の主要アレルゲンはトロポミオシンであり、昆虫類トロポミオシンと交差反応することから、昆虫食は甲殻類アレルギー患者にアレルギー症状を誘発する可能性がある。そこで、甲殻類トロポミオシンを特異的に認識する抗体を用い、国内で流通している昆虫食に含まれるタンパク質の中に抗体が認識するタンパク質が存在するかを検証した。甲殻類トロポミオシン特異的抗体を構成試薬とする甲殻類ELISAキットを用い実施したところ、12種類の市販昆虫食製品すべてから、トロポミオシン抗体が反応するタンパク質が検出され、評価した昆虫食にはトロポミオシン様タンパク質が含まれていることが示唆された。また、非加熱の製品に比べ、加熱加工処理による抗原性の低下は認められなかったほか、昆虫タンパク質を抽出する際、加熱抽出法を採用することで昆虫トロポミオシンを感度よく検出できる傾向が観察された。本研究により得られた昆虫食の交差反応性に関する検討結果は、甲殻類アレルギー患者の健康被害の防止につながる知見となると考えられる。今後、臨床学的にアレルゲンが与える影響について、さらなる科学的根拠を集積することが必要である。

(参考論文)

酒井信夫, 安達玲子, 中村厚, 柴原裕亮, 上坂良彦, 清木興介, 織田浩司, 穂山浩, 手島玲子, いわゆる健康食品に含まれる甲殻類様タンパク質量の実態調査. 日本食品化学学会 16, 118-122 (2009)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

安達玲子、爲廣紀正、甲斐明美、吉田健介、穂山浩、柴田識人、近藤一成:「特定原材料くるみに対する特異的定量及び定性検査法の妥当性評価」、日本食品衛生学会第 119 回学術講演会(令和 5 年 10 月 12-13 日、東京)

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

表 1 使用した昆虫食検体

No.	品名	主原料産地	状態	加熱の有無
23-001	昆虫食（カイコサナギ）	タイ	姿、乾燥	加熱
23-002	昆虫食（ミルワーム）	タイ	姿、乾燥	加熱
23-003	昆虫食（ヨーロッパイエコオロギ）	タイ	パウダー	加熱
23-004	食用昆虫（ヨーロッパイエコオロギ）（加熱調理専用）	国産	姿、冷凍	非加熱
23-005	食用昆虫（カイコ幼虫）（加熱調理専用）	国産	姿、冷凍	非加熱
23-006	食用昆虫（ジャイアントミルワーム）（加熱調理専用）	国産	姿、冷凍	非加熱
23-007	食用昆虫（コガタスズメバチ成虫）（加熱調理専用）	国産	姿、冷凍	非加熱
23-008	WeaverAnts(ツムギアリ)	タイ	姿、乾燥	加熱
23-009	昆虫食調理用【冷凍昆虫】 ツムギアリ	タイ	姿、冷凍	非加熱
23-010	【国産】冷凍 キイロスズメバチ 幼虫	日本	姿、冷凍	非加熱
23-011	Locust Powder (ワタリバッタパウダー)	タイ	パウダー	加熱
23-012	昆虫食調理用【冷凍昆虫】 スパースローテッド・グラスホッパー（ノドバッタ）	タイ	姿、冷凍	非加熱

表 2 甲殻類 ELISA キットにおける測定結果-1：3 種の抽出方法

(μg/g)

検体				Sキット			Mキット		
				室温	室温+ 阻害剤	加熱	室温	室温+ 阻害剤	加熱
23-001	カイコサナギ	姿、乾燥	加熱	113	74.2	262	2.1	2.0	2.3
23-002	ミルワーム	姿、乾燥	加熱	1077	829	1883	16.3	14.4	31.8
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	パウダー	加熱	1106	802	2306	19.4	17.0	38.7
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	姿、冷凍	非加熱	1471	1283	2359	ND	ND	2.0
23-005	カイコ幼虫	姿、冷凍	非加熱	17.3	58.0	323	ND	ND	ND
23-006	ジャイアントミルワーム	姿、冷凍	非加熱	ND	0.7	302	ND	ND	0.8
23-007	コガタスズメバチ成虫	姿、冷凍	非加熱	2.2	1.6	3868	ND	ND	1.6
23-008	ツムギアリ	姿、乾燥	加熱	1342	1012	2125	6.0	5.0	6.8
23-009	ツムギアリ	姿、冷凍	非加熱	962	996	1302	0.9	1.2	1.1
23-010	スズメバチ幼虫	姿、冷凍	非加熱	64.7	29.0	181	ND	ND	ND
23-011	ワタリバッタ	パウダー	加熱	6319	6758	8534	1.5	1.7	1.9
23-012	スパースローテッド・グラスホッパー（ノドバッタ）	姿、冷凍	非加熱	ND	ND	1012	ND	ND	ND

※阻害剤：プロテアーゼ阻害剤, ND: <0.3 μg/g

表 3 甲殻類 ELISA キットにおける測定結果-2：加熱抽出

(μg/g)

検体				Sキット		Mキット	
				平均	SD	平均	SD
23-001	カイコサナギ	姿、乾燥	加熱	219	37.8	1.3	0.3
23-002	ミルワーム	姿、乾燥	加熱	1573	276	21.3	9.3
23-003	ヨーロッパイエコオロギ	パウダー	加熱	3268	869	25.2	11.7
23-004	ヨーロッパイエコオロギ	姿、冷凍	非加熱	1744	541	1.4	0.7
23-005	カイコ幼虫	姿、冷凍	非加熱	387	150	ND	
23-006	ジャイアントミルワーム	姿、冷凍	非加熱	290	54.3	0.7	0.2
23-007	コガタスズメバチ成虫	姿、冷凍	非加熱	3950	948	1.7	0.1
23-008	ツムギアリ	姿、乾燥	加熱	3112	926	4.1	0.5
23-009	ツムギアリ	姿、冷凍	非加熱	1988	662	1.1	0.3
23-010	スズメバチ幼虫	姿、冷凍	非加熱	287	128	ND	
23-011	ワタリバッタ	パウダー	加熱	9520	1274	1.9	0.4
23-012	スパースローテッド・グラスホッパー（ノドバッタ）	姿、冷凍	非加熱	1575	564	ND	

※3回の測定結果の平均値，ND: <0.3 μg/g

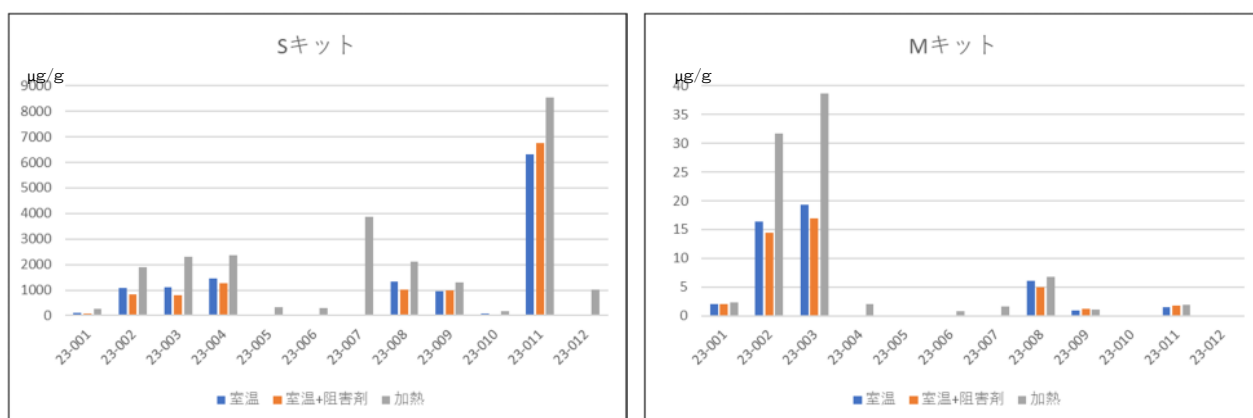


図1 甲殻類 ELISA キットにおける測定結果-1：3種の抽出方法を用いた場合

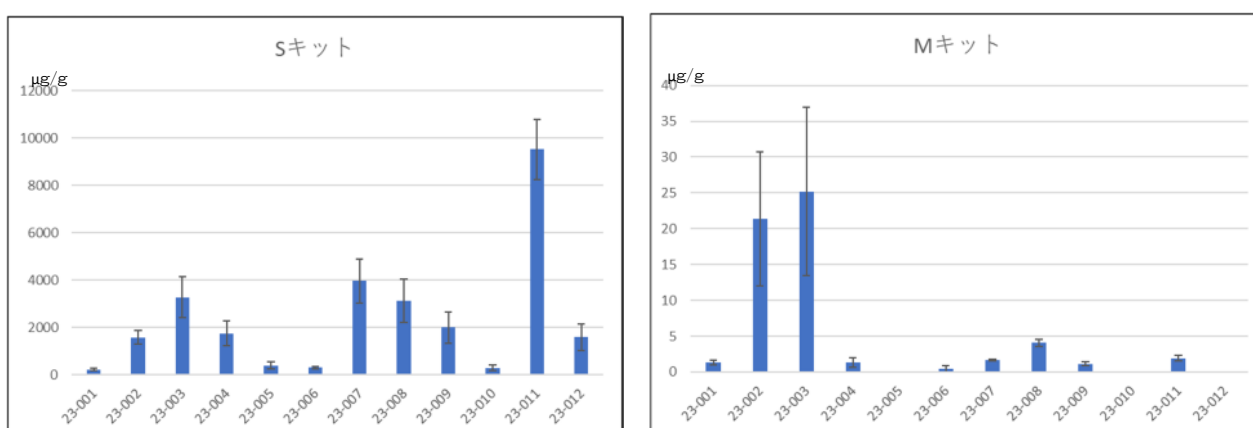


図2 甲殻類 ELISA キットにおける測定結果-2：加熱抽出

課題 4．諸外国の規制等の文献調査

研究分担者 畝山智香子

令和5年度厚生労働科学研究費補助金（食品の安全確保推進研究事業）

「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究

分担研究報告書

課題4 諸外国の規制等の文献調査

研究分担者 畝山智香子

国立医薬品食品衛生研究所安全情報部

研究要旨

昆虫食の安全性確保のために必要なリスク管理について提案することを目的とする本研究のうち、本課題では諸外国及び国際機関等の安全性や規制等に関する情報を継続的に収集し、日本に必要な対策の参考とすることが目的である。また新たに利用されるようになった品種や食品安全上のハザード情報など、関連情報を更新することで変化する状況に対応するための備えとする。今年度はこれまでの諸外国の規制機関情報の概要をまとめるとともにいくつかの文献情報を収集した。また最も利用が進んでいると思われる食用コオロギについて、欧米のリスク評価・リスク管理機関がどのような情報を考慮しているのかを検討した。

研究協力者

国立医薬品食品衛生研究所安全情報部

登田 美桜

A. 研究目的

食品としての昆虫は一部地域で比較的少数が利用されてきたことはあるものの、大規模生産・流通はこれまで行われてこなかった。近年、特に 2013 年の FAO による食用昆虫報告書発表以降、地球環境への負荷を軽減できるとして昆虫を蛋白源として使おうと動きがあり、日本でも食用昆虫の産業化がおこりつつある。食品の安全性の確保は一義的には食品事業者の責任ではあるが、昆虫食のようなこれまであまり経験のないものについては通常の商品とは異なる制度を作ったりガイドラインを作成したりするケースが多い。日本では昆虫食について特別な制度はないが今後必要になる可能性もある。こうした状況を背景に、この課題では諸外国の制度の調査と文献調査を行い、本研究班の他の分担課題での昆虫食における有害化学物質、微生物、マイコトキシンの汚染実態調査や、アレルゲン性や飼料・加工による影響検討の進展に並行して随時更新する。

B. 研究方法

世界各国の食品安全担当機関やリスク評価担当機関によるここ数年の発表を収集した。

PubMed の文献検索および EurekAlert でのプレスリリースの監視等から、いくつかの文献をピックアップした。

C. D. 結果及び考察

1) 資料 1 に最近の世界各国の食品安全担当機関やリスク評価担当機関による昆虫食関連発表についてまとめた。

EU の他に韓国で制度の整備が進んでいる。これらの国はもともと昆虫食だけではなく新規食品についての制度をもっていたため、そこに昆虫が加わった形になっている。

2) 資料 2 と 3 は昆虫食の販売にあたってリスク評価機関やリスク管理機関がどのような情報を検討したのかの概要を評価書と書籍から抜き出したものである。基本的には HACCP の考え方に則って、考えられるハザードをできるだけ網羅しそれを実際の製品との関係で検討している。未知の部分が多いため、リストアップされている、昆虫に存在する可能性のある微生物等は膨大な数になる。検査の結果不検出になる、というデータが蓄積されていけば検査項目は将来減らせるかもしれないが現時点では網羅的に確認していくしかないと思われる。参考までに資料 4 として昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム

(iBPF) によるコオロギ生産ガイドラインのチェックリストを掲載した。これは HP の説明によると「食品又は飼料の原料として利用することを想定したコオロギの生産過程における安全性を確保し、もって、食品又は飼料としてのコオロギに対する消費者の信頼を築くことを目的として作成」したもので、「生産者自らが、生産工程で想定される危害要因（生産物等の散逸、有害化学物質による汚染、病害虫の発生、異物の混入等）について、管理すべき項目を決定し、管理方法を定めた上でこれを実践・記録し、更にこれを点検・評価して改

善点を見出し、逐次生産の改善に活用する上での有用な基準を提供する」ためのものとのことである

(https://www.knsk-osaka.jp/ibpf/guideline/cricket_guideline.html)。ただし資料 2 と 3 に比べると明らかなように、具体的なハザードの可能性のある物質や項目およびその管理目標などの記述はなく実用性には疑問がある。厚生労働省が小規模事業者のための参考として提供している「HACCP の考え方を取り入れた衛生管理のための手引書

https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000179028_00003.html」の数々では製品ごとに管理すべきハザードとその管理方法、目標となる指標のチェック表や逸脱があった場合の対処法などを記載しており、実際に現場で使うことを想定しているのかどのレベルの安全性を目指しているのかは明らかである。

3) 昆虫食の安全性に関する文献として以下を今後要検討と同定した。最初の 2 つは中国における昆虫食の安全性評価に関するもので、1)において中国の情報はカバーしていないことから参考になる可能性がある。ただし引用文献の多くが中国語で記載された中国国内文献であるため今年

度は要検討に留まる。3 つめは国内でのアレルギー症例で、昆虫に感作されている自覚がなくコオロギせんべいを初めて食べてアレルギー反応を経験したもので、昆虫食がより広まればこのような事例も増加すると予想されるため、注視していく必要があるだろう。

①A review on edible insects in China: Nutritional supply, environmental benefits, and potential applications, Xueying Lin et al., Curr Res Food Sci. 2023; 7: 100596.

②Toxicological characteristics of edible insects in China: A historical review, Yu Gao et al., Food Chem Toxicol. 2018 Sep;119:237-251.

③食用コオロギ摂取によりアレルギー症状を呈した幼児例, 蓑島 宗夫, 徳永 舞, 小池 由美, 伊藤 靖典, アレルギー 2023 年 72 巻 10 号 p. 1258-1262

E. 研究発表

1. 論文発表
なし

資料 (次ページから)

資料1 世界各国の食品安全やリスク評価機関による昆虫食関連発表 ～2012 年以降
まとめ

資料2 アメリカでの食用昆虫販売のための情報

資料3 EFSA のコオロギ評価で検討した情報

資料4 昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム (iBPF) によるコオロギ生産ガイドラ
インのチェックリスト

資料 1

世界各国の食品安全やリスク評価機関による昆虫食関連発表 ～2012 年以降 まとめ
目次

FAO

EC

EFSA

FSA

BfR

RIVM

ANSES

EVIRA

CFIA

MFDS

SFA

その他

国連食糧農業機関（FAO：Food and Agriculture Organization of the United Nations）

<http://www.fao.org/>

● コーデックスが今後取り扱うかもしれない食品は？

CAC44 / what foods may Codex be dealing with in the future?

14/11/2021

<https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/news-and-events/news-details/en/c/1455532/>

第 44 回総会の開催 6 日目となる土曜日には 450 以上の代表が参加し、食品の未来、そして「新しい食品と生産システム（new foods and production systems: NFPS）」と表される革新的分野への活動の進展について議論した。FAO は、これまで世界で消費量が少ないという理由から、これらを「新しい（new）」食品と呼ぶ。一つの例が、海藻のような植物性タンパク質代替品であり、もう一つの例が食用昆虫であろう。新しいものは、コーデックスにとっても新しいことを意味しており、3D プリンタなどの技術の向上や細胞培養製品によるものである。FAO は増加している世界人口の食料を確保するための方法について、それと同時に食料生産をより持続可能にするための研究も行っている。

NFPS についてコーデックスがどのような対応を開始できるのか議論し始めると、シンガポールの Tan Lee Kim 氏が、食料安全保障の課題に向けて新しい食料資源と生産システムがもつ潜在力を認め、原則として食品の安全性と、表示、栄養及び品質を考慮す

べきであると述べた。

またタイの Yupa Laojindapun 氏は、途上国はコーデックスの取り組みを頼りにしており、これらの新興問題を適切に対処するための国際規格やガイダンスが不可欠であると述べた。

コーデックスによる国際ガイダンスの欠如は、増えつつある生産と消費者保護の妨げとなり、貿易の障害をもたらす可能性もある。NFPS が抱える多くの課題には、革新と発展への法的な障害が関係するため、政府機関による新しいアプローチも必要となるだろう。

日本では海藻は 2000 年以上の食経験があり、「新しい」食品ではないが、「食品や飼料としての海藻は持続可能な一次食品生産の解決策の一つとなるかもしれない」とノルウェーの Vigdis Veum Møllersen 氏が述べ、現時点ではこの食品分野の安全性に関するコーデックスガイドラインがないことを指摘した。

一部の技術は開発の初期段階であることから、「コーデックス規格やガイダンスを策定しようとするのは時期尚早であり、科学に基づいた規格を支えるデータもなく、結果的に貿易の非関税障壁や生産革新の妨げになる可能性がある。」と米国の Mary Frances Lowe 氏は述べた。

新しい食品がどのような意味を持つのか、そしてコーデックスが既存の手続きや委員会の構造を踏まえてこの課題をどのように扱うのか、じっくり検討する必要があるとの合意に至った。メンバー国とオブザーバーには情報提供を求め、次回の総会でより進んだ議論が行われるだろう。Steve Wearne 副議長は、「急いで問題に取り組むだけでなく、包括的なアプローチを確保することも必要だということが分かった。我々は、バランスのとれたやり方を模索する必要があると思う。」と述べた。

欧州委員会 (EC : Food Safety: from the Farm to the Fork)

https://ec.europa.eu/food/safety_en

● 持続可能で、食用にでき、栄養価も高い - 虫についてもう一度考えよう！

Sustainable, edible and nutritious – think about insects again!

17/05/2023

<https://ec.europa.eu/newsroom/sante/items/787829/en>

2021 年、欧州委員会が新規食品としてミールワームを EU 初の昆虫種として承認することを決定して以来、ヨーロッパの食生活にどんな変化があったのか、どのような状況が記録されているのか、DG SANTE で新規食品担当チームリーダーである Rafael Perez

Berbejal 氏にインタビューした。

EU が新規食品として最初にミールワームを承認してからの 2 年間で、どのような変化が見られたか

2 年前（2021 年 6 月 1 日）、加盟国は、昆虫種（ミールワーム）を新規食品として初めて認可することを承認した。この画期的な決定を受けて、欧州委員会は、この認可を申請した食品事業者が製品を EU 市場に投入することを認める法律案を採択した。

それ以来、欧州委員会は、トノサマバッタ（migratory locust）、ヨーロッパイエコオロギ（house cricket）、レッサー・ミールワームなど、さらにいくつかの昆虫を新規食品として市場に出すことを許可している。将来、もちろん明確に定義された使用条件のもとで、他の事業者が同様の昆虫種を EU 市場に出すことを申請する可能性もある。

これは昆虫が徐々にフードチェーンに入ってくることを意味するか

スーパーマーケットの棚に昆虫由来の食品が増えることは予想されるが、市民は不意打ちを食らうことはなく、食品に昆虫が含まれているかどうかを正確に把握できるだろう。EU は透明性を重視しており、シリアルやプロテインパウダーに昆虫が“入り込む”心配はない。

EU は法律で、昆虫を含む食品にはその旨を表示することを義務付けている。これは、食品表示規則に基づく現行ルールに追加されたもので、新規食品を含むことになる食品に対する表示要件を定めている。この要件は、表示規制要件に追加される。これらの法律により、市民は自らが購入し消費する食品について、引き続き自分自身で決断できるようになる。

つまり、消費者は、これらの製品がスーパーマーケットの棚に並ぶとき、明確な表示がされていると確信できる。

なぜ昆虫が食品として認可されるのか

農場から食卓まで（Farm to Fork）戦略で強調されているように、昆虫は代替タンパク質の入手と調達を増やす上で、より重要な役割を果たす可能性がある。これはつまり、将来的に昆虫のタンパク質の利点を享受するために、今日の重要な研究分野であることを意味する。

新規食品規制は、こうした製品が EU 市場に出る前に認可を要求している。認可された昆虫については、入手可能なすべての科学的根拠を考慮した厳しい科学的評価が欧州食品安全機関（EFSA）によって実施されており、また加盟国は、認可を申請した食品事業者が製品を EU 市場に出すことを認める意思を欧州委員会に伝えている。

もちろん、昆虫を食べるか食べないかは消費者の自由であるが、昆虫はすでに世界の多くの地域で何億人もの人々の食生活に取り入れられており、昆虫を食べることは何も新しいことではない。

この分野における次のステップは何か

欧州委員会は、ミツバチの drone blood（オスの幼虫）（Apis mellifera male pupae）やアメ

リカミズアブ (*Hermetia illucens*) の幼虫など、他の昆虫種の認可申請をいくつか受けている。

現在、さまざまな形態での上市を目的とした昆虫の申請が 8 件あり、欧州食品安全機関 (EFSA) の評価を受けているところである。EFSA から肯定的な意見が出されれば、欧州委員会は認可の手続きを進め、加盟国と協議することになる。

我々は、今後を見据えて、この種の製品の市販前承認に関して、強固な規制の枠組みを持っていると言っていいだろう。こうした枠組みが、食品の安全性を保証し、国内市場を促進しながら、食品のイノベーションを可能にする。

したがって、新規食品規制の下で認可された昆虫種は、我々の食生活において、代替タンパク質源としてますます存在感を増し、重要なものとなることが予想される。

- **新規食品：イエコオロギが EU で食品成分として認可された 3 番目の昆虫になった**

Novel foods: house cricket becomes third insect authorised as food ingredient for the EU market
Daily News 11 / 02 / 2022

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/mex_22_983

昨日、欧州委員会は *Acheta domesticus* (ヨーロッパイエコオロギ) を EU の新規食品として認めた。食用として認められた昆虫としては 3 例目となる。この新規食品を含む製品には、アレルギー反応の可能性があることを示す表示が付けられる。

- **新規食品として二番目の昆虫承認**

Approval of second insect as a Novel Food

https://ec.europa.eu/food/safety/novel-food/authorisations/approval-second-insect-novel-food_en

常設委員会で何が承認されたのか？

2021 年 10 月 7 日、欧州委員会の代表が議長を務め、EU 全加盟国の代表で構成される植物・動物・食品・飼料に関する常設委員会 (新規食品と毒性学的安全性班) は、新規食品としての *Locusta migratoria* (トノサマバッタ) の冷凍、乾燥、粉末の市場投入を認可する法律案に好意的な意見を示した。

何故昆虫を食品として認可しているのか？

新規食品とは、新規食品に関する最初の規則が施行された 1997 年 5 月 15 日以前に、EU 内でヒトが相当量を消費したことのない食品と定義される。過去に昆虫が食用として消費されていた話はあるが、どの加盟国も 1997 年 5 月 15 日以前に、どの種の昆虫についても相当量が消費されたことを確認していない。新規食品規則は EU 市場に新規の食品を投入するのに認可を要求しており、そのため、昆虫を食品として使用するには新規食品としての認可が必要となる。

新規食品規則とは何か？

新規食品を対象に、安全性を確保しながら革新的な食品を EU 市場に投入する食品事業者を支援するもの。その原則は、新規食品は消費者にとって安全で、誤解を与えないように適切に表示されるべきこと、新規食品が他の食品の代替を意図する場合には、栄養的に不利益となる違いがあってはならないこと、である。

我々は昆虫を食べなければならないのか？

消費者に選択権がある。

製品は安全か？

安全である。ヒトの健康にリスクとならない場合にのみ、新規食品は認可される。

健康上の問題はあるか？

EFSA は、この製品の摂取により一部の人にアレルギー反応を引き起こす可能性がある」と結論づけている。そのため、この新規食品の認可では、この問題を明確にし、アレルギー性に関する特定の表示要件を定めている。

既に EU で食品として販売されている昆虫がある。どうして可能なのか

確かに歴史的な理由から販売されているものがあり、そして 1 つの昆虫がすでに新規食品規則のもと認可されている。加盟国の間では「昆虫全体 (whole insects)」が新規食品に該当するのかが疑問視されており、以前に欧州司法裁判所でも新規食品の範囲には含まれないとの結論も出されていた。ただ、現行の新規食品規則では、昆虫全体は認可取得が必要な新規食品とすることが明白にされている。食品事業者への影響を軽減するために、移行期間として特定条件下での販売を認めてはいるが、現行規則の下で認可を受けたい場合には 2019 年 1 月 1 日までに認可申請を提出しなければならなかった。現在、それらの科学的評価が進行中である。

昆虫含有製品は表示されるか

新規食品を含む食品への表示要件が提案されている。これは、表示規則への追加事項となる。

他に申請中のものは？さらに多くの昆虫が認可される？

ごく最近、EFSA がさらに 2 種の昆虫 (*Tenebrio molitor* イエローミールワーム、*Acheta domesticus* ヨーロッパイエコオロギ) について前向きな科学的意見を発表した。これらについて EC が 2021 年 11 月に予定している次回の常設委員会で法律案を提案する予定であり、また現在他 9 件の申請について EFSA が安全性評価を実施している。

食品や飼料としての昆虫は「農場から食卓まで」と「グリーンディール」に貢献するか

FAO によると、昆虫は従来の家畜の代替となり、環境、健康や生活にとってもプラスに寄与する。そして健康的で持続可能な食事を増進する代替タンパク源にもなる。研究資金援助を行っている Horizon Europe は、昆虫タンパク質を重要な研究分野の一つと考えている。

市場への経済影響は？

EU において現時点では食品としての昆虫は非常にニッチな市場である。

次の段階は？

2 つ目の新規食品としての昆虫については、加盟国による採択に続いて、今後数週間のうちに委員会によって採択されるであろう。

● 小さな昆虫―大きな影響！ EU が昆虫を食品として認可

Small insects – Big impact! EU authorises insects as food

<https://ec.europa.eu/newsroom/sante/items/712990/en>

EU 初の食用昆虫としてミールワームを認可する欧州委員会の決定を受けて、DG SANTE の新規食品チームのリーダーである Rafael Perez 氏は、EU 消費者の食品の選択肢を拡大する動き、より健康的でより持続可能な食事の一部としての昆虫のますます重要な役割、今後数年間の環境へのメリットについて話し合う。

昆虫が食品として認可されている理由は？

最近の認可を受けて、ミールワームは現在「新規食品」とみなされることになった。新規食品とは、最初の関連規則が施行された 1997 年 5 月 15 日以前に、EU で人々に広く摂取されていなかった食品である。

欧州食品安全機関(EFSA)が実施した厳格な科学的評価により、加盟国は委員会に、この認可を申請した食品事業者が製品を EU 市場に流通させることを許可する承認を与えた。委員会はその後、2021 年 6 月 1 日に法案を可決した。

もちろん、昆虫を食べたいかどうかを決めるのは消費者次第だが、昆虫食はすでに世界の多くの地域で食事に含まれているため、新しいものではない。

食品としての昆虫は安全か？

安全である。新規食品は、ヒトの健康にリスクを起こさない場合のみ認可される。SAS EAP グループ企業による申請を受け、EFSA はその製品に厳格な科学的評価をし、イエローミールワームは安全だと結論した。

これらの新しく認可された食品は、卵、乳、魚、甲殻類、そして今回の昆虫など、表示が必要な 14 種のアレルゲンリストを定めた、アレルゲン表示に関する EU 規則の対象となっていることを強調したい。このような規則により、食物アレルギーのある人は、十分な情報に基づき判断を行い、感作成分を含む製品を避けることができるようになる。

食物アレルギーなどの一般的な健康問題として、EFSA は、イエローミールワームの摂取が、特に甲殻類やチリダニに対し既存のアレルギーのある人に対し、アレルギー反応を起こす可能性がある」と結論した。しかし、そのような事例の発生率は非常に低い。

昆虫が食品に入っているかどうか消費者が知る方法は？

この法案は新規食品を含む食品の表示要件を明確に述べている。この要件は表示規則の要件に追加される。つまり消費者は、これらの製品がスーパーマーケットの棚に並ぶ時には、明確に表示され、購入品の正確な内容が消費者に提供されると確信することができる。EU は、透明性への取り組みに着実に取り組んでいる。

食品や飼料中の昆虫は食品システムの持続可能性にどのように貢献している？

FAO によると、食品としての昆虫は、21 世紀に私達が現在、そして今後も直面するだろう多くの問題に対し、主導的な役割を果たすだろうとしている。多くの問題には、動物性タンパク質のコスト上昇、食料不安、環境圧力、人口増加、中間層のタンパク質の需要増加などが含まれている。

世界には多数の昆虫がいて、それらの高タンパク質で栄養価の高い特性は、家畜の二酸化炭素排出量の 1%未満で得られ、理想的な食事代替手段として、健康的で持続可能な食事への移行を促進し、私達の健康だけでなく環境、ひいては未来にも積極的に貢献する。

この分野の次の段階は？

FAO によると、伝えられるところでは、1900 以上の昆虫種が世界で食品として使用されている。ミールワームのように、委員会は、新規食品規則のもと、ガイマイゴミムシダマシの幼虫 (*Alphitobius diaperinus*: 小さいミールワーム)、カマドコオロギ (*Gryllodes sigillatus*: 熱帯のイエコオロギ)、ヨーロッパイエコオロギ (*Acheta domesticus*)、トノサマバッタ (*Locusta migratoria*)、アメリカミズアブ (*Hermetia illucens* larvae) など、他の昆虫種の認可申請を受け取っている。

今日まで、委員会は 11 件の申請を有効と見なし、それぞれに対して EFSA が安全性評価を行っている。EFSA が肯定的な意見を出し次第、委員会は認可の手続きを開始することになる。

今後数年のうちに、新規食品規則の下で認可された昆虫種は、EU および世界の持続可能な食料システムのための「農場から食卓まで戦略」の目標に貢献する代替タンパク質として、これまで以上に重要になるだろう。

● 新規食品として初めて昆虫認可

Approval of first insect as Novel Food

https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food/authorisations/approval-first-insect-novel-food_en

2021 年 6 月 1 日に何が採択された？

植物・動物・食品及び飼料に関する常任委員会（新規食品及び毒性学的安全性部門）による 5 月 3 日の肯定的な投票に次いで、欧州委員会が乾燥イエローミールワームを新規食品として市場に流出させることを認める委員会実施規則 (EU) 2021/882 を採択した。

* 委員会実施規則 (EU) 2021/882

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32021R0882&qid=1622617276506>

加盟国により認可されたこと

欧州連合 (EU) 加盟国すべての代表者からなり、欧州委員会の代表が議長を務める、植物・動物・食品及び飼料に関する常任委員会は、5 月 3 日、乾燥イエローミールワーム

ムを新規食品として販売することを認可する法律案に関する好意的意見を表した。

イエローミールワームという用語はチャイロコメノゴミムシダマシという甲虫の幼虫を指す。この新規食品はスナックとして乾燥昆虫を丸ごと、あるいは様々な食品中の食品成分として使用されることを意図する。

なぜ昆虫を食品として認可しているのか？

新規食品とは、新規食品に関する初めての規則が施行された 1997 年 5 月 15 日以前において、欧州域内で相当量が食用として摂取されていなかった食品として定義される。過去には昆虫が食品として消費された逸話的証拠はあるが、ヒトが 1997 年 5 月 15 日以前何らかの昆虫を相当量消費したことを欧州連合加盟国は確認していない。

新規食品規則は、新規食品が欧州連合の市場で販売される前に認可を必要とする。新規食品規則は、欧州食品安全機関（EFSA）による厳しい科学的評価を経た製品の認可についてのみ対象にしている。EFSA は入手できる科学的エビデンスに照らしてその食品がヒトの健康に安全上のリスクをもたらさないことを検証する。

本日の出来事は、イエローミールワームを新規食品として認可する手続きにおける最終段階のひとつである。加盟国は、欧州委員会に対し、この認可を申請した食品事業者が製品を欧州連合市場で販売することを許可することを承認した。欧州委員会は今後、この目的のための法的措置を最終採択する。

新規食品規則とは何か？

新規食品規則は、1997 年 5 月 15 日以前に EU 域内で相当量が消費されていない食品を対象に、安全性を保証しながら、食品事業者が EU 市場に革新的な食品を導入することを支援するものである。

この法律は革新と安全性の適切なバランスをとっている。現行制度は、革新的な食品が EU 市場に到達するまでに必要な時間が、従来の法律に比べて半分に短縮されている。この法律は、昆虫、藻類、新規植物タンパク質あるいは第三国由来伝統食品など、多岐にわたる食品に関連し、欧州グリーンディールや Farm to Fork（農場から食卓まで）戦略の目的にも貢献するものである。

新規食品規則を支える原則は、新規食品は消費者にとって安全であること、誤解のないよう正しく表示されなければならないこと、もし新規食品がほかの食品の代替を目的とするならば、その新規食品の摂取が消費者にとって栄養学的に不利になるような違いがあってはならないことである。

なぜ昆虫を食べるべきか？

昆虫を食べたいかどうかの判断は消費者次第である。タンパク質の代替源として昆虫を使用するのは新しいことではなく、昆虫は世界の多くの場所で日常的に食べられている。

製品は安全か？

安全である。新規食品はヒトの健康にいかなるリスクも引き起こさない場合のみ認可

される。そうでなければ、欧州委員会から加盟国に認可が提出されることはなかっただろう。

SAS EAP グループ企業による申請を受け、製品は EFSA の厳しい科学的評価を受けた。EFSA は、申請者により提案された用途と用量であれば、イエローミールワームは安全であると結論付けた。

健康問題は何かあるか？

EFSA によると、食物アレルギーは成人人口のおよそ 2-4%、子供では最大で 8-9% に影響する重要な公衆衛生問題である。

EU の食品表示の規則では、表示が必要である 14 のアレルゲンを同定している（例：卵、乳、魚、甲殻類など）。このリストにより食物アレルギー疾患のある人は製品が感作されている成分を含むかどうかに関する情報を得ることができる。

EFSA はイエローミールワームの消費がアレルギー反応につながる可能性があると結論付けた。特に甲殻類やイエダニに既にアレルギー疾患があるとあてはまる可能性がある。さらに、餌由来アレルゲン（例、グルテン）が昆虫に含まれる可能性がある。

そのために、新規食品の認可はこの問題を明確にし、アレルゲン性に関する特別な表示要件を策定する。

EU ではすでに食品として販売されている昆虫がある。なぜ可能なのか？

これはその通りで、歴史的な理由がある。

丸ごとの昆虫が以前の新規食品規則の対象であったかどうかに関し、EU 加盟国の間で疑問があった。この不確実性については、欧州司法裁判所の判決（2020 年 10 月 1 日）で、丸ごとの昆虫は規則の範囲になく市販前認可なしに販売することができる、という結論により明確となった。

次に、2018 年 1 月 1 日以降に適用されている現行の新規食品規則は、丸ごとの昆虫は新規食品として認可を得なければならないと明確に見なしている。

この新規食品制度の拡大が昆虫を丸ごと販売する食品事業者（FBOs）に与える影響を緩和するために、現行規則では、食品事業者が特定の条件のもとで丸ごとの昆虫を引き続き販売できる移行期間を与える。特に、現行の新規食品規則に基づく認可申請は、2019 年 1 月 1 日までに欧州委員会に提出しなければならなかった。このため、新規食品規則に基づく科学的評価がまだ進行中であるにもかかわらず、いくつかの昆虫はすでに販売されている。

昆虫を含む製品は表示されるか？

法律案は新規食品を含む食品に対する表示要件を設定する。

これは表示規則の要件に追加で適用される。

他の審議中の件はあるか？ 欧州連合でさらに認可が期待できる昆虫はあるか？

EFSA により安全性評価を受ける昆虫について現在 11 件の申請がある。

食品や飼料用の昆虫は Farm to Fork や 欧州グリーンディールの目標に貢献するか？

FAO によると、動物性タンパク質のコスト高騰、食品供給不安、環境圧力、人口増加、中産階級のタンパク質需要の増加により、食品としての昆虫は、21 世紀において特に重要な問題に関連する。従来の畜産の代替となる解決策を見つける必要がある今、昆虫食は環境や健康、生活に貢献することができる。

FAO はまた、昆虫は脂質、タンパク質、ビタミン、食物繊維及びミネラルを豊富に含む栄養価の高い健康的な食品の摂取源であると指摘する。そのため、昆虫は健康的かつ持続可能な食事への移行を促進する代替タンパク源である。

研究とイノベーションの資金援助プログラムである Horizon Europe のもと、昆虫由来のタンパク質は重要な研究分野の 1 つと考えられている。

昆虫市場は経済にどう影響するか？

現在、食用昆虫は EU において非常に小規模の隙間市場である。

昆虫を食品用に飼育することの環境的利点は、昆虫の高い飼料転換効率、少ない温室効果ガスの放出、少ない水や耕作地の使用、食品廃棄を減らす市場性ある解決法としての昆虫ベースのバイオコンバージョンの使用などに見られる。

次の段階は何か？

4 月の EU 加盟国の承認に続き、欧州委員会はこの昆虫を食品として認可する規則を数週間以内に採択するだろう。

● 査察報告書

ドイツ—動物の飼料に昆虫の利用

Germany 2019-6646—Use of insects in animal feed

19/05/2020

https://ec.europa.eu/food/audits-analysis/audit_reports/details.cfm?rep_id=4285

2019 年 11 月 11～15 日にドイツで実施した、動物用飼料としての昆虫と昆虫由来製品の生産、販売、取引に関する要件が、関連事業者によって、動物の副産物(ABP)と飼料に関する EU 規則に求められる通りに実行されていることを保証するための措置を評価するための査察。昆虫の養殖、取り扱い、加工を行う管理者と飼料用昆虫タンパク質の生産管理者の登録と認可を管理する既存のシステムは、管理者の規則遵守の効果的な検証を可能にしているが、関連する認証生産者には適用されていない。公的管理はリスクに基づき、設定された頻度に従って実行されている。微生物検査のサンプリングや TRACES の昆虫加工動物性タンパク質(PAP)の積荷の到着確認に欠点はあるものの、該当する要件は適切に実行されている。動物副産物(ABP / PAP)に関する問題への助言が含まれていないが、管轄機関はすでに対処するための活動計画を提示している。

フランス—動物の飼料における昆虫の利用

France 2019-6647—Use of insects in animal feed

11/12/2019

https://ec.europa.eu/food/audits-analysis/audit_reports/details.cfm?rep_id=4216

2019 年 6 月 17～21 日にフランスで実施した、関連企業管理者が、動物用飼料としての昆虫とその派生製品の生産、販売、貿易を、動物由来成分(ABP)及び飼料に適用できる EU 規則に従って実行していることを確認するための一連の査察の一部である。昆虫の飼育、処理、加工を行う管理者の登録と承認に関するシステムはリスクに基づいており、いくつかの欠点を除いて効果的に検証されている。承認済み ABP 管理者のリスト記載方法は、外部利用者には管理者が承認されているかどうかを確認できない。

オランダー動物用飼料に昆虫の利用

Netherlands—Use of insects in animal feed

14/06/2019

http://ec.europa.eu/food/audits-analysis/audit_reports/details.cfm?rep_id=4138

2018 年 11 月 13～16 日にオランダで実施した、昆虫及び昆虫由来製品の動物用飼料としての生産、販売、取引に関する要件が、関連の事業管理者により動物副産物(ABP)及び飼料に関する EU 規則に則して実行されているかを評価するための査察。管理者の規則への遵守は公的管理システムで効果的に検証できている。昆虫加工動物性たんぱく質(PAP) や飼料用昆虫の生産施設の管理は、包括的でリスクに基づいている。違法を対処しフォローアップする方法に矛盾があり、公的管理システムの効果を弱めている。

● 新規食品：EU 市場に存在する食品の多様性を増す新しい規制が発効

Novel Food: new regulation adding to the food variety present on the EU market enters into force

3 January 2018

https://ec.europa.eu/info/news/novel-food-new-regulation-adding-food-variety-present-eu-market-enters-force-2018-jan-03_en

2018 年 1 月 1 日から新しい新規食品規制が適用される。この規制は新規食品の認可方法に相当な改善と変更をもたらす。食品部門の技術革新と進歩を考慮して、新規食品の定義を拡大し、新規食品と第三国の伝統食品の EU 全域での認可の中央集権システム、認可された全ての新規食品のリスト、申請者のデータ保護条項などを含む。

＊詳細：Novel food

https://ec.europa.eu/food/safety/novel_food_en

新規食品に関する新たな規則(EU) 2015/2283 における主な改善点は次の通り。

- ・ 新規食品カテゴリーの拡大：新規食品の定義に含まれるものは、植物、動物、微生物、細胞培養物などに由来するものの他、特別な食品群（昆虫、ビタミン、ミネラル、サプリメント）や特殊な製造工程や先端技術（ナノマテリアル、意

図的修飾や分子構造を変化させたもの)を施したものも含まれ、1997 より前に製造又は使用していなければ、新規食品とみなされる。

- ・ 新規食品の一般的認可：以前の規則では販売は申請者に限られていたが、新規規則のもとでは、認可された新規食品で認可要件を順守していれば他の食品事業者も EU 市場に流通させることができる。
- ・ 認可された新規食品統一リストの構築：ポジティブリストを作成する。
- ・ 新規食品の安全性評価を一元化：EFSA が評価を行い、EC の認可決定はその評価結果に基づく。
- ・ 認可手続きの簡易化と一元管理：オンライン申請システムを利用して EC が管理する。
- ・ 効率性と透明性：安全性評価と認可手続きに期限を設け、認可への時間短縮を行う。
- ・ 第三国の伝統食品のための迅速かつ体系的な通知：EU では新規食品として扱われる EU 域外の国々の伝統食品の市場を促進するため、新規規則では評価手続きを簡素化する。
- ・ イノベーションの特権付与：新規規則ではデータ保護に基づく 5 年間の個別認可を与える。これは、申請者が新規食品の流通について特権を与えられることを意味する。

欧州食品安全機関 (EFSA : European Food Safety Authority) <https://www.efsa.europa.eu/en>

● **新規食品としての丸ごとイエローミールワーム(チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫)の UV 処理した粉末の安全性**

Safety of UV - treated powder of whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2023;21(6):8009 1 June 2023

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/8009>

(科学的意見)

欧州委員会からの要請を受けて EFSA の NDA パネルは規則(EU) 2015/2283 に従って、新規食品(NF)としての、丸ごとイエローミールワーム(チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫)の UV 処理した粉末に関する意見を出すよう求められた。イエローミールワームとは、昆虫種 *T. molitor* の幼虫形態をさす。この NF は丸ごと加熱乾燥したイエローミールワームの UV 処理した粉末である。この NF は主に粗タンパク質、脂質、消化可

能な炭水化物、食物繊維(キチン)からなる。パネルは、この NF の汚染物質の量は、昆虫の飼料中の汚染実態にかなり依存すると指摘した。パネルはさらに、この NF はその全保存期間において提案された規格基準に従うならば、この NF の安定性に関する完全上の懸念はないことを指摘した。この NF はタンパク質含有量が多いが、窒素-タンパク質変換係数 6.25 を用いると、非タンパク質窒素の存在により、この NF 中の真のタンパク質含有量は過大評価される。申請者はこの NF を、ベーカリー製品、パスタ、果物・野菜のコンポート、チーズなど、様々な食品の成分として使用することを提案している。対象集団は一般人である。パネルは、この NF の組成、提案した使用条件、この NF が食事タンパク質の単一源とはならないことを考慮すると、この NF の摂取は栄養的に不利ではないこと、UV 処理に関わらず、この NF がビタミン D3 の明らかな食事の寄与因子ではないことを指摘する。科学文献から提出された毒性試験は安全上の懸念を生じなかった。パネルは、この NF の摂取は、イエローミールワームのタンパク質に対して一次感作やアレルギー反応を誘発する可能性があり、甲殻類やダニにアレルギーのある対象者にアレルギー反応を引き起こす可能性があると考えられる。さらに、飼料からのアレルゲンがこの NF に入る可能性がある。アレルゲン性の可能性を除いて、パネルは、この NF は提案した用途と使用量で安全だと結論している。

- 食品中の昆虫とそのアレルギー誘発性評価に関する関連性

Insects in food and their relevance regarding allergenicity assessment

EFSA Journal 2022;20():e200909 14 December 2022

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/e200909>

昆虫は循環型農業に貢献し、伝統的なタンパク質源を補完する理想的な候補である。トレーニングとして、まずは食品としての昆虫とアレルゲン性について文献検索を実施した。さらに昆虫のアレルギー誘発性に関する食品加工の影響を分析するために様々な食品サンプルを用意し、消化管を模倣したプロトコルを用いて人工的に消化した。結論は、食品安全、特に新規食品としての昆虫とその安全性評価においてより幅広い視点で捉えることができた。

- 新規食品：昆虫のタンパク質のアレルギー誘発性評価

Novel foods: allergenicity assessment of insect proteins

EFSA Journal 2022;20():e200910 14 December 2022

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/e200910>

昆虫は有望なタンパク質源であり、新規食品・飼料タンパク質としての使用に大きな可能性があることが報告されている。EU - FORA フェローの主な目的は、新規食品や新しい代替タンパク質源のアレルギー誘発性を予測する現在の戦略をレビューし、評価し、ギャップを特定することや、アメリカミズアブ(*Hermetia Illucens*)の幼虫を用いたケース

スタディなどで昆虫タンパク質のアレルギー誘発性評価を習熟し、毒性学的な栄養及び微生物リスクを含む新規食品として昆虫をとらえたリスク評価を考慮し、理解し、実施することである。

- 新規食品としての一部脱脂イエコオロギ (*Acheta domesticus*) 粉末の安全性

Safety of partially defatted house cricket (*Acheta domesticus*) powder as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2022;20(5):7258 13 May 2022

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/7258>

(科学的意見)

欧州委員会からの要請を受けて、栄養・新規食品及び食物アレルギーに関する EFSA のパネル(NDA)は規則(EU) 2015/2283 に従って新規食品(NF)としての脱脂イエコオロギ (*Acheta domesticus*) についての意見を出すよう求められた。この NF は乾燥粉末として提案されている。この NF の主な成分はタンパク質、脂質、食物繊維(キチン)である。パネルはこの NF の汚染物質濃度は昆虫飼料中のこれらの物質の発生量によると言及した。パネルはさらに、この NF は、全保存期間にわたって提案された規格基準に従った場合、この NF の安定性に関する安全上の懸念はないと言及した。この NF は、タンパク質を多く含んでいるが、キチン由来の非タンパク質窒素の存在により、窒素からタンパク質への変換係数 6.25 を使用すると、真のタンパク質量は過剰評価されている。申請者はこの NF を多くの食品で食品成分として使用することを提案した。申請者が提案した対象集団は一般集団である。パネルは、この NF の組成や提案された使用条件を考慮すると、この NF の摂取は栄養的に不利ではないと指摘した。パネルは、申請者からこの NF での遺伝毒性や亜慢性毒性試験は提出されなかったと指摘した。この NF の供給源(*A. domesticus*)の使用歴から安全上の懸念が生じないことや、昆虫丸ごとと一部脱脂した NF の違いが限られていることを考慮して、パネルは、アレルギー誘発性以外に安全上の懸念は確認されなかったとした。パネルは、この NF の摂取は *A. domesticus* タンパク質への一次感作を引き起こし、甲殻類、ダニ、軟体動物にアレルギーのある被験者にアレルギー反応を引き起こす可能性があると考えている。さらに、飼料に由来するアレルギーがこの NF に行き着く可能性がある。それはさておき、パネルはこの NF は提案されている使用と使用量で安全だと結論した。

- 循環型経済における食品及び飼料の安全性の脆弱性

Food and feed safety vulnerabilities in the circular economy

EFSA Journal 2022;19(3):EN-7226 18 March 2022

<https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/en-7226>

(外部科学報告書)

循環型経済(CE)は、(ほぼ)閉じられたループの中で、限りある資源の消耗と経済活動を切り離し、ゴミを出さないよう設計し、代わりに、共有、リース、再利用、修繕、改修、リサイクルに基づく経済モデルを促進するアプローチである。この広範な文献レビューは現在及び予想される実践の概要を提供するために欧州の食品・飼料生産チェーンの全段階で CE の活動を特定し分類した。EU 内で CE の実践を予定している、あるいは現在使用している 4 つの広いマクロ領域が特定された：食品・飼料の一次生産；産業/製造/加工のゴミの削減；卸売り、食品小売、ケータリング、家庭での食品・飼料のゴミの削減；食品・飼料の包装ゴミの削減。各マクロ領域では、植物、動物、ヒトの健康及び環境への新興リスクに関する興味深い様々な活動がある。EFSA や広範な関係者と協議をした後に、「CE の枠組みにおける新規食品・飼料」による植物、動物、ヒトの健康及び環境への新興リスクを特定するために焦点を絞った文献検索が実施された。文献から、動物、ヒト、植物の健康と環境への新規食品・飼料の新興リスクに関してよりも、動物の生産性パラメータに関連した新規飼料の適合性を調査する研究へのバイアスが示された。リスクを調査したこれらの研究は、ほとんど全て、食品や飼料としての昆虫とその飼育環境の生物学的及び化学的ハザード、健康へのリスク、環境への影響に焦点を当てていた。新興リスクは特徴づけられ、今後の調査への助言が行われた。CE における新規食品・飼料の今後の基礎研究では、昆虫養殖以外の分野に焦点を当て、様々な制限/法律の対象となる可能性のある家畜/商品の EU への輸入に関連した潜在的なリスクを更に調査するよう助言する。

- 新規食品としての丸ごとのヨーロッパイエコオロギ(*Acheta domesticus*)由来の冷凍及び乾燥品の安全性

Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2021;19(8):6779 17 August 2021

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6779>

(科学的意見)

欧州委員会からの要請を受けて、栄養・新規食品及び食品アレルギーに関する EFSA のパネル(NDA)は EU 規則 2015/2283 に従って、新規食品としてヨーロッパイエコオロギ(*Acheta domesticus*)由来の冷凍及び乾燥製品の安全性に関する意見を出すよう求められた。この NF は、(i) 冷凍、(ii) 乾燥、(iii) 粉末の 3 形態で提案されている。この NF の主な成分は、乾燥型ではタンパク質、脂質、食物繊維(キチン)、冷凍型では水、タンパク質、脂質、食物繊維(キチン)である。パネルは、この NF の汚染物質濃度は昆虫の飼料中の汚染物質の存在量によるとした。パネルはさらに、この NF がその全保存可能期間中に提案された規格基準に適合していれば、安定性に関する安全上の懸念はない。

窒素-タンパク質変換係数 6.25 を用いると、キチン由来非タンパク質窒素の存在により実際のタンパク質量は過大評価されるが、この NF は高タンパク質を含んでいる。申請者はこの NF をスナックとして、また多くの食品の食品成分として使用することを提案した。申請者が提案した対象集団は一般人である。パネルは、この NF の成分や提案された使用条件を考慮して、その摂取に栄養上の不利は生じないとした。パネルはこの NF に関する遺伝毒性と亜慢性毒性試験が申請者から提出されなかったことに留意した。ヨーロッパエコオロギの使用歴またはこの NF の組成データから生じる安全上の懸念はないことを考慮して、パネルはアレルギー誘発性以外の安全上の懸念はないことを確認した。パネルは、この NF の摂取はヨーロッパエコオロギタンパク質への一次感作を引き起こす可能性があり、甲殻類、ダニ、軟体動物にアレルギーのある患者ではアレルギー反応を引き起こす可能性があると考えている。また、飼料に由来するアレルゲンがこの NF に含まれる可能性もある。パネルは、この NF は提案された使用方法と使用量で安全だと結論した。

- 新規食品としての丸ごとのイエローミールワーム (*Tenebrio molitor* larva)の冷凍及び乾燥品の安全性

Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2021;19(8):6778 25 August 2021

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6778>

(科学的意見)

欧州委員会からの要請を受けて、EFSA の NDA パネルは、EU 規則 2015/2283 に従って新規食品(NF)としての丸ごとイエローミールワーム (*Tenebrio molitor* larva : チャイロコメノゴミムシダマシ幼虫) の冷凍及び乾燥品に関する意見を出すよう求められた。イエローミールワームは、ゴミムシダマシという昆虫種の幼虫形を指す。この NF は、イエローミールワームの冷凍及びフリーズドライ品で、丸ごとまたは粉末状にしたものである。冷凍品は主に水、粗タンパク質、脂質で構成されているのに対し、フリーズドライ品は粗タンパク質、脂質、消化可能な炭水化物、食物繊維(キチン)から成る。パネルは、この NF に含まれる汚染物質の量は、飼料中に存在する汚染物質の量によることを注記する。パネルはさらに、この NF は、全保存可能期間において提案された規格基準を満たすのであれば、その安定性について安全上の懸念はないとした。窒素-タンパク質の換算係数 6.25 を用いると、キチン由来の非タンパク質性窒素の存在により実際のタンパク質量は過大評価されているのだが、この NF の乾燥品はタンパク質含有量が多い。申請者はこの NF を丸ごとの冷凍昆虫か、丸ごとのフリーズドライ昆虫として使用する、あるいは粉末をシリアルバー、パスタ、肉模造品、焼菓子など様々な食品に添加することを提案している。対象集団は一般人である。パネルは、この NF は単独の食事

性タンパク質源ではないことや、NF の組成と提案された使用条件を考慮すると、この NF の摂取に栄養上の不都合はないとした。文献により提出された毒性試験は安全上の懸念を生じなかった。パネルは、この NF の摂取は、イエローミールワームタンパク質への一次感作やアレルギー反応を誘発する可能性があり、甲殻類やチリダニにアレルギーのある患者ではアレルギー反応を起こす可能性があると考えている。さらに、飼料由来のアレルゲンが含まれる可能性もある。パネルは、この NF は、提案された使用方法と使用量で安全であると結論した。

- 新規食品としてのトノサマバッタ (*Locusta migratoria*) 由来冷凍及び乾燥製品の安全性

Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locusta migratoria*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2021;19(7):6667 2 July 2021

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6667>

(科学的意見)

欧州委員会の要請を受けて、栄養・新規食品及び食品アレルゲンに関する EFSA のパネル(NDA)は、EU 規則 2015/2283 に従って新規食品としてのトノサマバッタ (*Locusta migratoria*) 由来冷凍及び乾燥製品の安全性に関する意見を出すよう求められた。トノサマバッタという用語は昆虫種 *Locusta migratoria* の成虫を指す。この NF は、i) 足と羽のない冷凍、ii) 足と羽のない乾燥、iii) 足と羽を含む粉末、という 3 つの製品を提案している。この NF の主な成分は、乾燥タイプではタンパク質、脂肪、繊維(キチン)、冷凍タイプでは水、タンパク質、脂肪、繊維(キチン)である。パネルは、この NF の汚染物質濃度は昆虫用飼料に含まれる汚染濃度によると注記している。パネルは、保存可能な全期間において、提案された規格基準に適合するのであれば、この NF の安定性に関する安全上の懸念はないと留意した。この NF はタンパク質を多く含んでいるが、キチン由来の非タンパク質窒素が存在することにより、窒素からタンパク質への変換係数 6.25 を用いると NF の真のタンパク質量は過大評価される。申請者はこの NF を、スナック状の冷凍、乾燥、粉末として、また多くの食品生産の食品成分として使用することを提案した。申請者が提案した対象集団は一般人である。パネルはこの NF の組成や提案した使用条件を考慮して、この NF の摂取は栄養的に不利ではないとしている。提出された使用歴や文献からの毒性試験は安全上の懸念を生じなかった。パネルは、この NF の摂取は *L. migratoria* タンパク質に対する一次感作を引き起こす可能性があり、甲殻類、ダニ、軟体動物にアレルギーのある被験者にアレルギー反応を起こす可能性があると考えた。さらに、飼料由来のアレルゲンが最終的にこの NF に入る可能性がある。パネルは、この NF は提案した使用と使用量で安全だと結論した。

● 食用昆虫：新規食品評価の科学

Edible insects: the science of novel food evaluations

13 January 2021

<https://www.efsa.europa.eu/en/news/edible-insects-science-novel-food-evaluations>

本日の新規食品申請に関する EFSA の科学的意見の中には、昆虫由来食品について初めて完了した評価が含まれている。欧州市場のこれらの製品を承認する EU や国の意思決定者を支援するため、EFSA による安全性評価は新規食品規制に必要なステップである。

この新規食品規制が 2018 年 1 月 1 日に発効して以降、EFSA は広く多様な新規食品及び伝統的食品の素材についての大量の申請を受け取ってきた。多数の食用昆虫種に加えて植物由来ハーブ製品、藻類ベースの食品、在来種以外の果物が含まれている。

分子生物学者及び毒性学者である Helle Knutsen 博士は、EFSA の栄養に関する専門家パネルのメンバーで、EFSA の新規食品作業グループの議長である。彼女は次のように述べた。「新規食品申請は多様なので、それら进行评估するのに多くの種類の科学的な専門知識が必要である。例を挙げると、栄養学、毒性学、化学、微生物学などである。この作業グループの構成はこれを反映し、私達科学者とともに、経験豊富な多くの学問領域にわたるグループを形成している。」

食用昆虫

EFSA の化学者で食品科学者である Ermolaos Ververis 氏が、新規食品としての昆虫に関する最初に採択された意見の取りまとめを担当した。彼は次の様に述べている。「昆虫は複雑な生物で、それが昆虫由来食品の組成の特徴を記述するのを難しくしている。昆虫全体が摂取されることも考慮して、その微生物学を理解することが最も重要である。」

様々な昆虫由来食品はしばしば食事のタンパク源として歓迎されている。

「昆虫の外骨格の主成分であるキチンが存在する場合、実際のタンパク質量は過大評価される可能性があるが、昆虫由来製品はタンパク質が多い可能性がある。特に重要なこととして、多くの食物アレルギーはタンパク質と関連するため、昆虫の組成が何らかのアレルギー反応の引き金となる可能性があるかどうか評価する。これらは昆虫タンパク質に対する個人の感受性、他のアレルゲンとの交差反応、あるいはグルテンなどの昆虫の飼料の残留アレルゲンによって起こる可能性がある。データの品質と入手可能性は様々であり、昆虫種には多くの多様性があるので、それは難しい作業である。」

新規食品作業が難しい理由は、他に科学的でない理由もある。

「申請の殺到は大きな作業負担で、評価の締め切りに間に合わせるのには時には厳しい、特に申請に重要な科学的データがない場合である。だが、専門家の協力が良い刺激となり、私達が食品の安全維持に貢献していることを知ることはやりがいがある。」と Helle 氏は述べた。

科学的リスクの評価を超えて

昆虫を食品に使用することの目新しさは国民やメディアからの高い関心につながっているため、EFSA の科学的評価は、EU 市場に出す前にこれらの製品を承認するかどうか決める政策決定者にとって重要である。

パルマ大学の社会及び消費者研究者である Giovanni Sogari 氏は述べた。「社会的、文化的経験に由来した経験的知識に基づく理由があり、昆虫を食べるという考えは多くの欧州人を不快にさせるいわゆる“嫌な要素”である。時間をかけて触れることで、そのような態度は変わる可能性がある。」

ボローニャ大学の経済統計学者及び教授である Mario Mazzocchi 氏は述べた。「必要な飼料が少なく、廃棄物が少なく、結果として温室効果ガスの排出量が少なくなるこれらを伝統的な動物タンパク質源に代用する場合、明確な環境的・経済的利益がある。コストと価格の低下は食料安全保障を強化する可能性があり、新しい需要は経済的機会も開くだろう、だが、これらは既存の分野に影響を及ぼす可能性がある。」

EFSA の科学者は「やることリスト」の多くの新規食品申請を評価し続け、ブリュッセルや首都の意思決定者は欧州人の夕食として承認する必要があるかどうかを決めるだろう。最後に、消費者は、安全性が徹底的に検査されていることを知り、自信をもって自分が食べるものを選ぶことが出来る。

● 新規食品としての乾燥ミールワームに関する科学的意見

Scientific opinion on dried mealworms (*Tenebrio molitor*) as a novel food

EFSA Journal 2021;19(1):6343 13 January 2021

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/6343>

欧州委員会の要請を受けて、栄養・新規食品及び食品アレルギーに関する EFSA のパネル(NDA)は、EU 規則 2015/2283 に従って新規食品としての乾燥した黄色ミールワーム (*Tenebrio molitor* larva : チャイロコメノゴミムシダマシ幼虫) に関する意見を出すよう求められた。黄色ミールワームとは、ゴミムシダマシという昆虫種の幼虫形を指す。この NF は乾燥した昆虫全形あるいは粉末状として熱で乾燥させた黄色ミールワームである。この NF の主な成分はタンパク質、脂質、食物繊維（キチン）である。パネルはこの NF の汚染物質の量は、昆虫の飼料の汚染物質の量によると注記する。パネルは、この NF は、その賞味期限の全期間において提案されている規格基準を満たすのであれば、この NF の安定性に関する安全上の懸念はないと指摘した。キチンによる非タンパク質性窒素の存在により、窒素からタンパク質への変換係数 6.25 を使用すると、この NF の実際のタンパク質量は過大評価されているのだが、この NF はタンパク質含有量が多い。申請者はスナック形態の乾燥昆虫として全形で、また多くの食品の素材として、この NF を使用することを提案した。申請者が提案した対象集団は一般人である。パネルは、この NF の組成、提案された使用条件、摂取量を考慮すると、栄養的不都合はな

いとした。文献による提出された毒性試験は安全上の懸念を生じなかった。パネルは、この NF の摂取は黄色ミールワームタンパク質に対する一時感作及びアレルギー反応を誘発する可能性があり、甲殻類とチリダニにアレルギーのある被験者にアレルギー反応を起こす可能性があると考えた。更に、飼料に由来するアレルゲンがこの NF に含まれる可能性がある。パネルはこの NF は提案された用途と使用量で安全だと結論した。

- **新規食品の申請及び伝統食品の通知の安全性評価のための準備作業で EFSA を支える体系的な文献検索**

Systematic literature search to assist EFSA in the preparatory work for the safety assessment of Novel Food applications and Traditional Food notifications

28 January 2020

<https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/en-1774>

このプロジェクトの主な目的は、欧州委員会から受け取った新規食品/伝統食品の申請に関する文献について、事前に定義された採用/除外の基準に基づいた、体系的な文献検索およびタイトルや要約でのスクリーニングを行うための検索戦略と標準的な作業手順書を開発することである。さらに、キーワードとそれらの重み付け、そしてタイトル及び要約の格付けと評価のための 2 つのモジュールが開発された。関連性により文献の格付けに使われるキーワードや重み付けのリストが、新規食品/伝統食品の各区分、すなわち、植物、昆虫、菌類、藻類、化学物質用に作成された。このプロジェクト中に 36 の新規食品/伝統食品の要請を受け取り、評価工程をまとめた各要求に詳細な検索手順を開発することでうまく処理された。

- **新規食品と伝統食品：ガイダンス最終化**

Novel and traditional food: guidance finalized

10 November 2016

<https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/161110>

EFSA は、リスク管理者が「新規食品」と第三国の「伝統食品」を欧州で販売できるかどうかを決める前にこれらの食品が安全であると保証するのに役立てようと、2 つのガイダンス文書を発表した。

EFSA は 2015 年 11 月の新規食品に関する新しい欧州規則の採択に従いガイダンスを開発した。この規則は、1997 年からの規則に代わるものとして 2018 年 1 月に発効し、中央による評価と認可手順を紹介している。EU リスク管理者は新規食品の市販認可を決め、その安全性を確認するための科学的リスク評価を実行するよう EFSA に要請することができる。

新規食品と伝統食品とは？

「新規食品」は、1997 年 5 月以前に欧州の人々により確実な消費がなされていなか

った食品を指す。新原料由来食品（例えばオキアミ由来オメガ-3 脂肪酸を豊富に含む油）、新技術の適用（例えばナノ技術）あるいは新物質の使用により得られる食品（フィトステロールや植物ステロール）を含む。

「伝統食品」は、新規食品の一部である。EU 以外の国で伝統的に消費されている食品を説明する言葉である。植物、微生物、菌類、藻類、動物由来食品（例えばチアシード、バオバブの果実、昆虫、菱の実）が含まれる。

要求されるガイダンス

この新しいガイダンス文書は、リスク評価のために申請者が提出する必要がある詳細情報を説明する。また EFSA が新規あるいは伝統食品の安全性を評価できるように情報をどのように提示するかも明らかにしている。

新規食品申請を提出する申請者は、その製品を説明するデータを示す必要がある。文書には生産過程、使用目的と使用量に関する情報とともに、新規食品の組成、栄養、毒性とアレルギー性に関するデータを含む必要がある。

EFSA は別のガイダンス文書で第三国（EU 以外の国）の伝統食品を取り扱う。申請者は最低 25 年間 EU 以外の少なくとも 1 か国で伝統食品の安全な使用の根拠を示す必要がある。EFSA と加盟国は同様の手順でその根拠を評価する予定である。

関与関係者

EFSA はガイダンスを作成する際、関係者を密接に関与させた。2 ヶ月間パブリックコメントを募集したのに加え、関係者はブリュッセルの会議でその案に意見を述べる機会があった。

・科学的意見：新規食品に関するガイダンス文書

Scientific opinion: guidance document on novel food

Guidance on the preparation and presentation of an application for authorisation of a novel food in the context of Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal 2016;14(11):4594 [24 pp.]. 10 November 2016

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4594>

新規食品に関する欧州議会及び評議会規則(EU) 2015/2283 の採択に従い、欧州委員会は新規食品の認可申請の準備と提示のための科学的及び技術的ガイダンスを改訂し作成するよう EFSA に求めた。このガイダンスは、新規食品の安全性を論証するためのしつかり構成された申請文書を作るのを支援するために、提出情報をまとめる共通フォーマットを提示する。申請は包括的で完全であるべきである。このガイダンスは新規食品の安全性評価に必要なデータの概要を述べる。すべての申請に求められるのは、新規食品、生産工程、組成データ、規格、用途と使用量の案、新規食品の予想摂取量の説明である。新規食品の使用歴及び/またはその原材料、吸収、分布、代謝、排泄、栄養情報、毒性情報、アレルギー誘発性、についての追加項目がデフォルトとみなされるべきである。

る。もし提出しないなら正当な理由が必要である。申請者は、提案された使用状況で様々な項目のデータが新規食品の安全性をどのように支持するのかという全体的な考察を提供するようデータをまとめる必要がある。健康ハザードの可能性が確認されたなら、新規食品の予想摂取量と提案された対象集団との関連で議論すべきである。提供された情報に基づき、EFSA は提案された使用状況で新規食品の安全性を評価する予定である。

・科学的意見：第三国の伝統食品に関するガイダンス文書

Scientific opinion: guidance document on traditional food from third countries

Guidance on the preparation and presentation of the notification and application for authorisation of traditional foods from third countries in the context of Regulation (EU) EFSA Journal 2016;14(11):4590 [16 pp.].2015/228310 November 2016

<https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4590>

新規食品に関する欧州議会及び評議会規則(EU) 2015/2283 の採択に従い、欧州委員会は第三国の伝統食品通知書の準備と提出のための科学的及び技術的ガイダンスを作成するよう EFSA に求めた。このガイダンスは申請者がしっかり構成された文書で申請することを支援するために必要な情報構成のための共通フォーマットを示している。伝統食品の安全性は、その組成、継続使用経験及び提案された使用状況に関する信頼できるデータで立証されるべきである。さらに、通常の摂取は栄養上不利益があってはならない。そのような目的で、製品概要、生産工程、組成、安定性のデータ、規格、第三国の継続使用経験によるデータ及びEU市場のための伝統食品の提案された使用状況についての情報が要求されている。通知文書の枠組みはこのガイダンスで示された項目に従うべきである。このガイダンスは EU 加盟国と EFSA が第三国由来伝統食品を評価するのに必要な情報の種類と品質について提供し、申請者を支援することも意図している。申請は包括的で完全であるべきである。申請者は組成についての情報と継続使用経験をまとめ、伝統食品の安全な使用歴が EU に提案された使用状況にどのように関連するかについて簡潔な全体的考察を提供する必要がある。組成及び/または継続使用経験によるデータに基づいて健康ハザードの可能性が確認されたなら、それらは議論されるべきである。提供された情報に基づき、EFSA は提案された使用状況で伝統食品の摂取に関する安全性を評価する予定である。

・技術レポート：新規食品に関するガイダンス案についてのパブリックコメント募集結果

Technical report: outcome of a public consultation on the draft guidance on novel food

Outcome of a public consultation on the draft guidance on the preparation and presentation of an application for authorisation of a novel food in the context of Regulation (EU) 2015/2283

EFSA-Q-2016-00113

10 November 2016

<https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/1109e>

・技術レポート：第三国の伝統食品に関するガイダンス案についてのパブリックコメント募集結果

Technical report: outcome of a public consultation on the draft guidance on traditional food from third countries

Outcome of a public consultation on the draft guidance on the preparation and presentation of the notification and application for authorisation of traditional foods from third countries in the context of Regulation (EU) 2015/2283

EFSA-Q-2016-00114

10 November 2016

<https://www.efsa.europa.eu/en/supporting/pub/1108e>

● 食品と飼料としての昆虫：そのリスクは何？

Insects as food and feed: what are the risks?

8 October 2015

<https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/151008a>

ー食品と動物の飼料に昆虫を用いることに関心が高まっているが、この代替タンパク質源の生産、加工、摂取によるリスクは何だろうか？ー

食品や飼料に飼育した昆虫を使用することに関連し、EFSA は潜在的な生物学的及び化学的ハザード、アレルギー誘発性及び環境ハザードを特定するリスクプロファイルでこの問題を扱っている。科学的意見では、主流となる動物性タンパク源と関連するこれらの潜在的なハザードも比較している。

昆虫に由来する食品及び飼料製品の生物学的及び化学的ハザードの存在可能性は、昆虫に与えられた餌（物質）、昆虫が採取された生活環境、その昆虫の種類、さらに加工に用いられる方法など、生産方法によると EFSA の科学的専門家は述べている。

EFSA は未加工の昆虫が現在許可されている飼料で飼育されると、微生物学的ハザードが生じる可能性は他の未加工のタンパク源関連と同等と予想されると結論している。生息環境が異なる昆虫からの汚染化学物質の移行に関する入手可能なデータは限られている。

プリオンの発生ー牛の牛海綿状脳症(BSE)、ヒトのクロイツフェルト・ヤコブ病などの病気の原因となる可能性のある異常なタンパク質ーは、その物質がヒト（肥料）や反芻動物由来のタンパク質を含まないなら、同等またはより低いだろうと预期されている。

科学的意見では台所の廃棄物、動物の肥料のような他の種類の物質と関連した想定されるハザードも考慮された。

昆虫飼育の環境リスクも他の動物生産システムと同等だと予期されている。既存の廃棄物管理計画は昆虫生産による廃棄物の処分にも当てはめられるべきである。

EFSA の意見はピアレビューされた科学的文献と加盟国が実施した評価と関係者が提供した情報に由来するデータに基づいている。

背景

昆虫は EU では、いくつかの加盟国で時折ヒトが摂取することが報告されている隙間食品市場である。それにもかかわらず、食品と飼料源としての昆虫の使用は将来の実現可能性を秘めた、重要な環境、経済、食糧安全保障の利益がある。EU で食品及び/または飼料としての使用に最大の可能性を持つことが報告されている昆虫種はイエバエ、ゴミムシダマシ、コオロギ、カイコを含む。

食品及び飼料に昆虫を使用する可能性を研究している国連食糧農業機関(FAO)、ベルギー、フランス、オランダの EU 加盟 3 ヶ国を含む多数の組織が、食品あるいは飼料として昆虫に関連したリスク評価を実施している。

欧州委員会は、現在、飼料に昆虫タンパク質を用いることの実現可能性を調査する研究プロジェクトに共同出資している。委員会では食品や飼料として昆虫を使用する可能性を熟考するために新規食品と動物の飼料の分野での指針の開発も検討している。EFSA の科学的意見はこの作業を支援するため求められた。

*科学的意見：食品と飼料としての昆虫の生産と摂取に関連したリスクプロファイル
Scientific opinion: Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed

EFSA Journal 2015;13(10):4257 [60 pp.].

8 October 2015

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4257>

英国 食品基準庁 (FSA : Food Standards Agency) <https://www.food.gov.uk/>

- FSA は食品検査の継続に向けた新しい的を絞ったアプローチとして最新の小売サーベイランスを発表

FSA publishes latest Retail Surveillance Survey as new targeted approach to food inspection continues

19 February 2024

<https://www.food.gov.uk/news-alerts/news/fsa-publishes-latest-retail-surveillance-survey-as-new-targeted-approach-to-food-inspection-continues>

英国食品基準庁（FSA）は、新しい食品安全リスクの監視に役立つ年次調査の結果を発表した。これは、市場に流通する食品について何処にリスクが存在するのか、そして何をサンプリングすべきなのかを知ることによって特に焦点を絞った調査である。調査は2022年10月に実施した。大規模販売店や小規模販売店、インターネット販売からさまざまな食品を購入し、未表示の食物アレルギー、汚染物質、異物混入、組成の不正、不適格表示などについて検査した。

調査で得られた情報を元に、FSAの食品システムに関する知識が向上し、地方当局がリスクのある食品や課題へ直接リソースを注ぐことが出来るようになるとともに、検査で不適合が確認された場合には速やかにフォローアップ調査と適切な是正措置を講じることが可能となる。

報告書：Surveillance Sampling Programme

<https://www.food.gov.uk/research/research-projects/surveillance-sampling-programme-0>

（その一部抜粋）

科学及び研究目的の検体

リスク評価や政策決定のための情報をFSAに提供するために、科学及び研究目的として、4製品がサンプリングされた。オンライン業者から食用昆虫検体を購入し、検査した重金属では40検体全て満足のいくものだった。オンライン小売業者から購入した合計45製品の藻類・海藻食品/飼料製品の重金属とヨウ素を検査した。コンブ2検体に高濃度の無機ヒ素(30.7 mg/kg 及び 44.6 mg/kg)を認めた。25検体にヨウ素濃度(10.7 mg/kg ~5820 mg/kg)を認めた。他種の油の混入を調べるため様々な調理油をスクリーニングし、検査した56検体中5検体は更なる調査が必要だった。野菜、フムス、レンズ豆チップスなど、ジャガイモ以外の焼いた・揚げた野菜のチップスでアクリルアミドを検査した。検査した46検体中5検体に高濃度のアクリルアミドが指摘された(886 µg/kg ~1960 µg/kg)。

● 食用昆虫規制改正案に対する意見募集への回答を公表する

FSA publishes consultation response on proposed amendment to edible insects' legislation

3 October 2022

<https://www.food.gov.uk/news-alerts/news/fsa-publishes-consultation-response-on-proposed-amendment-to-edible-insects-legislation>

食用昆虫の事業者に明示するために英国食品基準庁（FSA）が定めた計画は、意見募集を経て進められる。

EU 離脱にあたり、食用昆虫を含む新規食品に係る移行措置が2018年に定められたが、昆虫が英国（グレートブリテン：GB）市場で認可を受けるのに必要な認可申請をGB

の規制当局に提出することを事業者に要求するようには改正されなかった。そのため 2020 年 12 月より、食用昆虫に関する不確実事項により影響を受ける事業者向けに制度を明確化するための意見募集を行っていた。今回の規制改正により、どの食用昆虫製品が市場に残ることができるのか、また事業者が GB の新規食品の承認手続きを進めながら自社製品の流通を継続できるようにするのに必要なステップが明確になる。議会が合意すれば、本規制は 2022 年 12 月 31 日に発効する。

● 食用昆虫のリスクプロファイル：要約

Risk profile on edible insects: summary

3 October 2022

<https://www.food.gov.uk/research/risk-profile-on-edible-insects-summary>

食用昆虫は、数年前から英国市場で入手可能になっている。食用昆虫も対象となる新規食品規則が 2018 年に更新された。それ以来、1997 年 5 月以前に欧州連合（EU）で消費された歴史のない昆虫を EU 市場に出すすべての企業は、製品の承認申請を提出しなければならない、これまでにいくつかの申請が寄せられている。申請された新規食品のリスク評価は、今後は FSA が行うことになるため、FSA のリスク管理担当者は、食用昆虫の摂取によるヒトへのハザードを同定するためのリスクプロファイルの作成を委託した。

このリスクプロファイルは、2015 年の EFSA リスクプロファイルから情報を得ており、2015 年から 2020 年の間に科学文献で同定された関連情報を用いてその報告書の更新版としての役割を果たすことを目的としている。このため、微生物学的、抗菌剤耐性、毒性学的、アレルギー性及び組成変動に関する研究を同定するために、系統的な検索プロトコルを設計した。研究対象となる昆虫種には、EFSA リスクプロファイルで同定したものと、英国の新規食品及び生産工程に関する諮問委員会（ACNFP）が以前のホライズンスキニング演習で同定したものを含む。最初の 1,759 件の文献のうち、合意された基準で選別した結果、98 件が残った。関連情報は本報告書にまとめられ、消費者へのリスクと管理措置に関する結論が導き出された。

本レビューの主な目的は以下の通りである。

- a) 2015 年以降、以下の質問に関連する昆虫及び昆虫製品のヒトの消費に関連する新たなハザードを同定すること。
 - 昆虫の天然微生物叢及び微生物汚染の可能性に基づき、食用昆虫又はその製品の摂取によるヒトの健康へのハザードは何か？
 - 昆虫の農場環境での飼育による抗生物質耐性に有害影響を及ぼすリスクは何か？
 - 昆虫の飼育や生産過程で有害な化学物質を生成・蓄積する可能性に基づく、昆虫やその製品の消費によるヒトの健康へのリスクは何か？
 - 特定の昆虫種又はその製品の消費によるヒトのアレルギー性リスクは何か？

- 。 昆虫又はその製品の消費によるヒトの栄養へのリスクは何か？
- 。 食用昆虫の消費に関する安全性について、入手可能な新しいエビデンスは何か？

b) これらの分野に関連する知識のギャップを同定すること。

いくつかのハザードが同定されている。原料の不適切な冷蔵や保管の結果、微生物が過剰に増殖した場合のフードチェーンを通じての二次汚染、あるいは食用昆虫製品は、適切な条件下で飼育されていなかったり、製品が数分間高温で加熱処理されていなかったりすると、高レベルの微生物汚染を引き起こす可能性がある。又、昆虫集団に抗生物質を投与すれば、抗菌剤耐性に有害影響を及ぼす可能性がある。病気の感染を制御し、抗菌剤の使用の必要性を回避するために、衛生的な飼育方法の最適化が検討される可能性がある。さらに、昆虫は汚染された餌を与えると、有毒な化合物、特に重金属を蓄積する可能性がある。衛生的な飼育方法を確保し、餌の汚染レベルを最小限に抑えることは、有毒化合物の蓄積を避けるのに役立つ。熱処理によるアクリルアミド、フラン、多環芳香族炭化水素などの有害物質生成について、また昆虫におけるカビ毒の代謝物についてなども今後研究されるだろう。

さらに、本レビューでは甲殻類と昆虫のアレルギー性交差反応に関するエビデンスを更新しており、消費者に適宜情報を提供することを考慮するべきである。新たな感作が将来発生する可能性は高いが、既存の文献に基づくリスクの推定は非常に不確かであると思われる。最後に、昆虫の幼虫は餌によって組成に大きなばらつきがある。餌の標準化により、組成のばらつきを最小限に抑えることができる。今回の調査では、英国におけるヒトの消費量や暴露分析データを研究した論文や公文書を検索することはできなかった。食用昆虫を英国の人々がどのように消費しているかを理解すれば、消費者が好む種や食生活における食物の役割を同定し、食用昆虫に対する英国の人々のアレルギー感受性プロファイルに光を当てることができるだろう。知識のギャップを情報提供するためにさらなる研究が必要である。

● 英国の食用昆虫業界に関して明確にするための意見募集を開始する

Consultation launched to bring clarity to British edible insect industry

13 July 2022

<https://www.food.gov.uk/news-alerts/news/consultation-launched-to-bring-clarity-to-british-edible-insect-industry>

英国食品基準庁（FSA）は、食用昆虫が安全性を評価するための新規食品認可プロセスを経る間、市場に残り続けることを認める計画を打ち出した。

本計画は本日開始されたパブコメで詳述され、FSA は受け取った回答に応じ、できるだけ早く必要な法改正を進めることに強い意欲を示している。

FSA 政策部長の Rebecca Sudworth は、次のように述べる：

「我々の提案は、2020 年 12 月末以降、ヒト食用昆虫をめぐる不確実性の影響を受けて

いる事業者の役に立つだろう。EU（欧州連合）離脱時、食用昆虫を含む新規食品に関する経過措置は、事業者が英国規制当局に申請書を提出するよう改正しなかった。食用昆虫製品が市場に出続けるためには、英国での完全な認可プロセスを通過する必要がある。そのため、申請書の提出やプロセスにおける FSA のサポートについて、事業者と相談することを勧める。食用昆虫に関心のある方、特に業界団体や食品事業者には、我々との協議を通じて声を上げていただきたい。」

2021 年 8 月、FSA は、経過措置が 2020 年 1 月 2 日に終了したとする文書を発行したが、これは誤っており、FSA は現在、英国では経過措置が引き続き適用されることを自治体とともに明確にしている。

本日示された提案では、食用昆虫が 2018 年 1 月 1 日以前に EU 又は英国で販売され、2019 年 1 月 1 日までに新規食品としての認可を EU に申請済みの場合、販売を継続することができる。

これらの食用昆虫の認可申請は、2023 年 12 月 31 日までに FSA 又は FSS（スコットランド食品基準庁）に行わなければならない、申請が審査される間、製品を市場に継続して残すことができる。

この協議を支援するために FSA と FSS が実施した一般リスク評価では、適切な措置がとられていれば、食用昆虫製品に関連する安全性リスクは低いことが判明している。これには、昆虫の汚染を避けるための飼育時の衛生対策、加熱処理及びアレルギーのリスクに関する表示などが含まれる。

FSA の調査によると、英国の消費者は肉の代替品に注目し、健康的で持続可能な食生活への関心と需要が高まっており、英国の消費者の 4 分の 1 以上（26%）が食用昆虫を食べてみたいと思っており、その理由として最も多いのが環境への配慮や持続可能性である。

英国食用昆虫協会マネージングディレクターである Nick Rousseau 博士は、次のように述べる：

「我々の業界は、長年にわたって昆虫の養殖を行い、エキサイティングで革新的な新しい食品を英国で開発してきたが、この業界は成長を続けている。我々の協会が行った広範な試験とユーザー試験から、食用昆虫製品が専門的に養殖、製造されれば、環境に配慮する消費者に栄養価が高く、美味しく安全な食品を提供でき、タンパク質需要のかなりの割合を満たすことができるということが示された。FSA の支援は我々が市場で実力を発揮する上で大きな変化をもたらすだろう。」

詳細な情報及び相談への対応方法については、FSA のウェブサイトで確認できる。

- 英国の消費者の 3 分の 1 は実験室で育てられた肉を試したいと考え、4 分の 1 は昆虫を試したいと考える

A third of UK consumers are willing to try lab-grown meat and a quarter would try insects

10 January 2022

<https://www.food.gov.uk/news-alerts/news/a-third-of-uk-consumers-are-willing-to-try-lab-grown-meat-and-a-quarter-would-try-insects>

新たな代替タンパク質に対する一般の認識調査により、英国の消費者の 3 分の 1 が培養肉を、4 分の 1 が食用昆虫を試してみたいと考え、又、10 人に 6 人という多くの消費者が、すでに市場に出ている植物由来の製品を試してみたいと考えていることも明らかになった。

英国食品基準庁（FSA）の調査では、消費者にとって食品の安全性が重要であり、実験室で作られた肉や食用昆虫を試すことを促す第一の要因となっている。食品安全に関する保証が、すでに人々が植物性タンパク質を食べたいと思う主要な理由となっている。

FSA は特に食生活の健康、環境保護、又は英国経済の活性化に効果が期待できる場合には、消費者の利益と食品の安全性を最優先事項とし、食品のイノベーションを支援する。

代替、あるいは新規のヒトの食用タンパク質源は、新興の食品であり、主に植物性タンパク質、昆虫及び微生物に関連する。本報告のハイライトは以下：

- 代替タンパク質に対する消費者の意識は高く、回答者の 90%が植物性タンパク質について、80%が食用昆虫について、78%が実験室で育てられた肉について聞いたことがあると回答している。
- 回答者の 4 分の 3 以上（77%）が植物性タンパク質は食べても安全であると認識しているのに対し、食用昆虫は半数（50%）、実験室で育てられた肉は 10 人に 3 人（30%）が安全であると回答している。
- 10 人に 6 人の回答者が、食事に植物性タンパク質を取り入れてみたいと考えており、最も多い理由は、食べても安全だと思うから（44%）、健康上の理由（39%）、あるいは環境又は持続可能性の理由（36%）であった。植物性タンパク質を試す際の最大の障壁は、従来の肉類への嗜好であった（36%）。
- 約 3 分の 1（34%）が実験室で作られた肉を、4 分の 1 強（26%）が食用昆虫を試してみたいと思っている。それぞれの 40%、31%が、環境と持続可能性を理由とする。
- 代替タンパク質を全く試す気がない回答者にどうしたら試す気になるか尋ねた：
 - 5 人に 2 人（42%）は実験室で作られた肉を試したいと思わせるものは何もないと回答したが、4 分の 1 以上（27%）は食べても安全だとわかれば、23%は適切に規制されていると信じられれば、試す気になるかもしれない、と答えた。
 - 大多数（67%）は、食用昆虫を試したいと思わせるものは何もないと回答した。8 人に 1 人（13%）は、食べても安全だとわかれば、11%は食欲をそそる見た目であればその気になるかもしれない、と回答した。

FSA は、今年後半に業界の主要関係者を集め、この市場への参入支援方法を検討し、新規食品の導入のための既存の規制の枠組みやリスク分析プロセスを説明する予定で

ある。

＊報告書全文

<https://www.food.gov.uk/research/behaviour-and-perception/survey-of-consumer-perceptions-of-alternative-or-novel-sources-of-protein>

● FSA 理事会－2021 年 6 月

ホライズンスキャン年次更新

HORIZON SCANNING ANNUAL UPDATE

<https://www.food.gov.uk/sites/default/files/media/document/fsa-21-06-06-annual-report-on-horizon-scanning.pdf>

2021 年 5 月の概要（図）

- － 現在から 2 年以内：新たな貿易相手、食料不足、新しい事業モデル、迅速に変わる規制の光景、植物や昆虫のような新たなタンパク源、使い捨てプラスチックの新たな代替品
- － 2-5 年：ゲノム編集
- － 5 年以上：気候変動の影響、培養肉

● 新興テクノロジーに対する消費者の考え方

Consumer Attitudes towards Emerging Technologies

17 April 2020

<https://www.food.gov.uk/research/research-projects/consumer-attitudes-towards-emerging-technologies-0>

FSA が食品に関して消費者利益の保護を重視することを考慮すると、消費者の新興の及び最新の食品テクノロジー（遺伝子組換え食品、ナノテクノロジー、機能性食品、培養肉、新規食品等）に対する考え方を理解することは重要である。

背景

迅速エビデンス評価の対象となるテクノロジーは、遺伝子組換え(GM)食品、食品に適用されるナノテクノロジー、機能性食品、培養肉、(英国における)新規食品、例えば昆虫食・クローン動物由来食品・3D プリント食品・食品に適用される合成生物学などである。

4 つの公開対話イベントがウィグストン、スウォンジー、ベルファスト、ロンドンで開催された。この公開対話イベントでは、GM 食品、食品のナノテクノロジー、クローン動物由来食品、培養肉、の 4 つのテクノロジーへの国民の意見をさらに調査した。

調査事項は次の通り：

- ・ 消費者はこれらのテクノロジーをどのくらい受け入れるか、何がこの考え方を形成するのか

- ・ 人口統計学やテクノロジーの種類により、どのように変化するか
- ・ 時間がたつにつれて考え方はどのように変化しているか

重要な知見

- 調査したすべてのテクノロジーについて単一の決まった消費者の考え方が浮かび上がるわけではない。その理由は、一つには異なるテクノロジー固有の多様性であり、消費者の考え方に関する体系的な研究がないのも原因の一つである。
- 食品テクノロジーの一般的な認識は低く、クローン作成のように 20 年以上もメディアで取り上げられているケースでもそうである。
- テクノロジーで発生する主な懸念は、「不自然さ」の感じ方、健康・動物の福祉・農業・環境に関する潜在的な影響である。これらのテクノロジーを促進する動機に信頼がないことも懸念につながった。
- これらのテクノロジーに認識されている利点には、人口増加、農薬の使用削減、保存期間の延長、廃棄物削減、品質改善やより多くの収穫量がある。
- 食品テクノロジーへの考え方は適用の種類や背景によっても異なる。
- 肯定的と否定的な考え方両方を同時に持つように、考え方の両面性は一般的である。
- 価格が影響する。消費者は手ごろな価格で手に入れられるなら喜んで GM 食品を買い、健康上の利益があっても、もっと高かったら、ナノテクノロジーを含む食品を進んで買うことはない。

● 新規食品についての公開ワークショップへの参加呼びかけ：2018 年 2 月 22 日

Attend an open workshop on novel foods: 22 February 2018

Last updated: 23 January 2018

<https://www.food.gov.uk/committee/acnfp/news-updates/news/2018/16849/attend-an-open-workshop-on-novel-foods-22-february-2018>

議題には、第三国の伝統食品に必要なデータ及び評価が必要な新興食品、昆虫、発酵食品、機能性食品やサプリメントの新規食品、が含まれる。

● 新規食品・加工諮問委員会（ACNFP : Advisory Committee on Novel Foods and Processes）

新規食品についての公開ワークショップ：2016 年 2 月 4 日

Attend an open workshop on novel foods: 4 February 2016 –

14 December 2015

<http://www.food.gov.uk/committee/acnfp/news-updates/news/2015/14750/novel-foods-workshop-invitation-feb-2016>

テーマは食薬区分、昆虫や培養肉などの新しいタンパク源、ナノテクノロジーなど。

- 食用昆虫について情報が必要

Information wanted on edible insects

29 July 2015

<http://www.food.gov.uk/news-updates/news/2015/14264/edible-insects>

FSA は英国の食用昆虫を販売している食品事業者に対し、一部の昆虫について食品として販売するためには認可が必要になる新しいEU規制改定のため準備を始めるよう要請する。

欧州委員会は加盟国での食用昆虫販売に関する新規食品規制の調和を探っている。新規食品とは 1997 年以前には意味のある摂取歴のない食品または食品成分のことである。

EU では昆虫の一部や抽出物は既に新規食品としての認可が必要であるが、丸ごとの昆虫に対してこれが適用されるかどうかについては国により解釈が違う。英国では丸ごとの食用昆虫は新規とはみなされていない。もし新規食品規制が提案通り改定されれば、これは 2016 年までに変更される。これらの変更への準備のための、FSA はヒト食用に昆虫を販売している企業に、FSA がそれらの食用としての歴史を示すのに役立つ情報を提供するよう要請している。もし 1997 年 5 月 15 日以前にある程度食用として食べられてきたことを示す十分な根拠がなければ、それらの昆虫は新規食品とみなされる。このことは販売を継続するためには安全性を示す情報を提供する必要があることを意味する。FSA は関連情報を 2015 年 9 月 21 日までに提出するよう要請する文書を事業者に送付した。

ドイツ連邦リスクアセスメント研究所 (BfR : Bundesinstitut für Risikobewertung)

<http://www.bfr.bund.de/>

- [BfR] 昆虫摂取後のアレルギー反応に関する知見はまだほとんどない

Still little knowledge on allergic reactions following insect consumption

27 June 2023

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/still-little-knowledge-on-allergic-reactions-following-insect-consumption.pdf>

2021 年には、チャイロコメノゴミムシダマシ(*Tenebrio molitor*)又はイエローミールワームの幼虫という昆虫種が、欧州連合(EU)で初めて食糧生産用に承認された。その間に、3 種の昆虫が追加で承認され、EU 委員会はさらなる承認申請を受けた。これらの食品のアレルギー反応や誘発に関する可能性については、現在科学的に調査されている。

イエローミールワームの幼虫は、2021年6月1日にEU委員会が承認した最初の昆虫である。これは後に、トノサマバッタ(2021年11月12日承認の *Locusta migratoria*)、イエコオロギ(2022年2月10日承認の *Acheta domesticus*)及びガイマイゴミムシダマシ(2023年1月承認の *Alphitobius diaperinus*)の幼虫(レッサミールワーム)が続いた。これらの昆虫から生産され、それぞれの承認申請書に記載されている食品及び調製品は、EU全域で販売することができる。承認に応じ、乾燥、冷凍、ペースト状又は粉末状で利用される。昆虫から作られた、又は昆虫を含む食品は新規食品であるため、EU新規食品規則に従って承認手続きを受ける必要がある。手続きの一部には、欧州食品安全機関(EFSA)の健康リスク評価を含む。EU委員会はこの評価において、安全上の懸念が生じない場合にのみ承認する。

これまでに承認された昆虫種について、EFSAは、昆虫由来食品のアレルギー誘発性についてさらに研究を行うよう勧告している。その理由は、入手可能な限られたエビデンスが、昆虫由来食品の摂取がアレルギー感作につながり、特定の昆虫蛋白質に対するアレルギー反応を引き起こす可能性を示唆しているためである。専門家は、それぞれの種の特定の蛋白質が互いに非常に類似しているため、昆虫食の摂取は甲殻類やイエダニに対するアレルギーを持つ人々にもアレルギー反応を引き起こす可能性があると推測する。

昆虫に対する食物アレルギーの広がり程度は、少なくとも欧州ではわかっていない。又、EU承認の粉末化された昆虫の摂取後に、アレルギー反応の発生例は、これまでに数例である。

基本的に、アレルギー反応は皮膚に現れ、じんましん、かゆみ、発疹、腫れなどの形で現れる。しかし、息切れ、呼吸性喘息、吐き気、下痢、最悪の場合はアナフィラキシー(=アレルギー)ショックが起こる可能性があり、生命を脅かす可能性がある。BfRの調査(10.03.2023現在)によると、ドイツ、オーストリア及びスイスの共同データベースであるアナフィラキシー登録簿「ANAPHYLAXIE.NET」では、現在まで昆虫食摂取後の該当症例は報告されていない。又、自主的な報告に基づいて食品に関連した中毒やその疑いのある中毒を記録するBfRの中毒データベースでも、昆虫由来食品による健康被害の訴え事例は登録されていない(蜂蜜を除く)。健康リスクを考慮する場合、昆虫由来食品の市場はこれまで隙間市場であり、現在、昆虫の食品を食べる人の数は少ない可能性が高い。

● 食用昆虫の安全性についての研究プロジェクト

Research Project on Safety Aspects of Edible Insects

15.02.2022

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/research-project-on-safety-aspects-of-edible-insects.pdf>

タンパク質の新たな摂取源として食用昆虫が議論されるようになっている。ドイツで

は食用昆虫という概念にはまだ慣れないが、世界には長い間昆虫を食してきた文化がある。ケニア Jomo Kenyatta 大学と共同で BfR は ContamInsect 研究プロジェクトを開始した。食用昆虫の摂取に関わる健康リスクをよりよく理解するため、ケニアで最もよく食されている昆虫の望ましくない汚染物質を探索する。

またプロジェクトの一環として、アメリカミズアブ (*Hermetia illucens*) の幼虫にアフラトキシン汚染穀物を与えて、幼虫がアフラトキシンを蓄積又は排泄するかの実験も行う。ケニアでは穀物のアフラトキシン汚染が多く、この実験から汚染穀物を昆虫バイオマスに変換できるかなどを調べる。

- 食品のリスク・ベネフィット評価を伝える：赤肉代用品としての食用昆虫

Communicating Food Risk-Benefit Assessments: Edible Insects as Red Meat Replacers

https://www.bfr.bund.de/en/communicating_food_risk_benefit_assessments_edible_insects_as_red_meat_replacers-291269.html

frontiers in Nutrition に発表された論文の紹介。この論文では、赤肉を食用昆虫に置き換えた場合の健康への影響に関するリスク・ベネフィット評価の結果を伝えるための枠組みがどのように作成されたかを紹介する。この事例では、既存の食品と比較して新規食品を摂取した場合の健康リスクとベネフィットに関するコミュニケーション戦略を設計する際の課題が浮き彫りにされている。健康的で十分な情報に基づいた消費の意思決定を促進するためには、伝えるべき科学的情報だけでなく、聞き手の情動的・感情的なニーズを考慮することが極めて重要である。

* Communicating Food Risk-Benefit Assessments: Edible Insects as Red Meat Replacers

Emilia Boehm et al.

frontiers in Nutrition: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.749696>

- 昆虫によって引き起こされるアレルギー？

Food allergy caused by insects?

No 044/2020 from the BfR of 24 September 2020

<https://www.bfr.bund.de/cm/349/food-allergy-caused-by-insects.pdf>

食用昆虫はアレルギーを引き起こす可能性があるか？2020 年 9 月、BfR はアレルギー反応の可能性から消費者を保護するための新たな共同研究プロジェクト「Allergen-Pro」を立ち上げた。このプロジェクトの目的：食品中のアレルゲン物質の詳細な分析方法を確立することと、アレルギー疾患のある人への影響を説明することである。スイスとドイツから 7 機関が参加しており、食品中の昆虫成分の検出を意図した適切かつ再現性のある方法の開発に取り組んでいる。

食物アレルギーをもつ人は食品中のアレルゲンを避けなければならない。アレルギーは、たとえ極微量でも健康問題の引きがねとなることがある。このため調理済み食品の

製造業者は包装上に成分を記載しなければならない。ピーナッツやセロリあるいは卵のような主要アレルゲンは、たとえ調理上少量であるとしても特別な表示義務が適用される。しかし、過失により食品に混入するアレルゲンの表示、言い換えれば、通常の成分でないものは規制されていない。これらの不注意のアレルゲンは例えば輸送や生産条件により混入することがあり、アレルギーのある人にとっては健康リスクを引き起こすことがある。

国連の FAO の推測によると、世界では 1900 以上の種類の昆虫が食べられている。欧州連合ではそれらは新規食品に関連する規則の対象となる。

昆虫はおそらく、将来的に食品成分としてますます使用されることになるだろう。現在、昆虫が新たな食物アレルゲンとして寄与する可能性について議論が行われている。今日まで昆虫が原因で引き起こされるアレルギー疾患症例件数は少ないが、例えば、トロポミオシンやアルギニンキナーゼのような相同性(homology)を有するタンパク質が増えることが原因で、特に節足動物（甲殻類やダニを含め）の交差反応が生じる可能性がかなり高い。

Allergen-Pro の共同研究プロジェクトの目的の一つは、のちに食品監視機関や最終的には食品生産業者にも、食品中の昆虫成分を確認する方法を提供することである。スイスとドイツからの計 7 機関は、高度な加工食品にも昆虫成分を検出する適切で再現できる方法の開発に取り組んでいる。この方法は、それぞれの種類に特有の遺伝物質の検出あるいはアレルゲンのタンパク質の直接検出に基づく。

さらに、健康関連の食物アレルゲンの可能性として昆虫の臨床的関連性はいまだはっきりしていない。いわゆる *in vitro* 法を使用しつつ食品感作の臨床的関連性を予測することは依然難しい。アレルギー患者や食品製造業者に対し安全性を向上させるために、昆虫のプロテオーム内にアレルギー誘発性 IgE/G エピトープを同定するための革新的なハイスループット *in vitro* 法もまた、開発されるだろう。このプロジェクトは、また、被験者が最小限のストレスで検査を受けることができ、アレルギー反応か臨床反応のない感作のみを示すものか判断できる、初めての *in vitro* 試験系を開発することに取り組んでいる。

Allergen-Pro プロジェクトは、ドイツ連邦下院による支持を伴い、ドイツ連邦食糧・農業省(BMEL)により資金提供されている。

● BfR リスク認知調査：食品と飼料としての昆虫

BfR Risk Perception Research: Insects as Foods and Feeds

15.10.2019

<https://www.bfr.bund.de/cm/364/insects-as-foods-and-feeds.pdf>

アフリカ、アジア、アメリカ：コオロギ、ミールワーム、イナゴは世界中の多くの地域で、茹でられ、揚げられ、食べられている。ヨーロッパでは通常は昆虫を食べないが、

食品や動物用飼料としての産業的な飼育や加工の可能性について公開討論が開始されている。

BfR で実施した代表的な消費者調査により、昆虫食についての意識レベルや、预期されるベネフィットとリスクを見通せるようになる。メディア応答分析はドイツのメディアでの昆虫の報道に焦点を当てている。

このパンフレットで、重要な背景情報や、研究がもたらすリスクコミュニケーションに関する一連の行動への研究と助言両方の本質的な結果が分かるようになる。

昆虫—未来の食品？

2,000 種類以上の昆虫が定期的に食べられている。それらは主に甲虫、昆虫の幼虫、ハチ類（ミツバチ、スズメバチ、アリ）、イナゴ、コオロギ、バッタ、他の昆虫（シロアリ、ハエやその幼虫などの双翅目）である。甲虫 31%、幼虫 18%、ハチ類 15%、イナゴ 14%。

＊BfR シンポジウム「食品や飼料としての昆虫：未来の食品？」

2016 年 5 月 24 日のシンポジウムの報告書

多くの食用昆虫種はヒトに必須なアミノ酸や不飽和脂肪酸が多く、エネルギーや栄養が豊富である。昆虫は種や年齢や食べ物にもよるが、多くの微量栄養素も含んでいる。この好ましい栄養組成のため、昆虫は動物由来の従来型食品の代替品として議論されている。

昆虫を食べること — は認められている？

EU で食品として市販が予想される全ての昆虫、あるいは昆虫を含む製品は、認可に先立ち、最初に欧州食品安全機関(EFSA)による健康評価を受けなければならない。これは新規食品規則(EU) 2015/2283 に基づいている。

<BfR の消費者調査の結果>

食用昆虫はどのくらいよく知られている？

- ・食品としての昆虫を知っている：72%
- ・飼料としての昆虫を知っている：60%

(全回答者における割合、n=1,000)

回答者のおよそ 14%は、主に海外で以前に昆虫を食べたことがある。その大部分は高等教育を受けた 18~39 歳の男性だった。特に、若い人たちが食品としての昆虫を認めている。だが、昆虫を食べたことのない人の大部分は懐疑的なままである。

- ・昆虫を主原料とする食品を試すことを想像できるのは 40%のみ

(昆虫を食べたことのない回答者における割合、n=861)

食用昆虫の利点と欠点は？

昆虫を食べることについて、一般的に懐疑的な見方があるけれども、消費者はその利点について十分情報を得ている。

回答者の 34%は昆虫を消費する理由としてタンパク質を多く含むことを上げている。さらに、昆虫は世界の栄養の将来に重要な役割を果たしている(17%)、一方で昆虫の飼育に関連する費用と労力は低いとみなされている(13%)。

食品としての昆虫の導入に対して嫌悪が最大の障害である

衛生や消化性についての懸念もあるが (15%)、報告されている主な障壁は嫌悪感で、珍しい栄養源としてその生物を用いることの違和感(13%)もある。回答者の 46%が、嫌悪感が主な障壁だと報告している

食用昆虫に不安を感じることは一般的？

昆虫を食べることについて様々な不安があるにもかかわらず、大多数は、それがヒトや動物の健康へのリスクはないと信じている(63%)。他に、病気 55%、毒物 56%。ヒトや動物への疑われるリスクの中でも、病気、毒物、アレルギーの伝染についての懸念や不耐性(17%)が最も頻繁に言及されている。

- ・ リスクを起こさないと信じているのは 63%

(リスクを理解している回答者における割合、n=270)

昆虫をどう扱うべきか？

食品として昆虫を利用することについて意見は二分している：支持する 47%、支持しない 48%。動物用飼料としての昆虫の利用については、支持するが 63%。たったの 27%のみ飼料としての昆虫の利用に反対している。

<BfR メディア分析の結果>

メディアは食用昆虫をどのように報道している？

「食用昆虫」というテーマの報道は 2014 年から 2015 年に倍増した：2014 年 27 記事、2015 年 60 記事。それらの 93%は、食品としての昆虫に焦点を置いた記事である。

分析した記事の大部分は利点を扱っている(80%)。18%だけが起こりうるリスクに言及している。ほとんどの記事は食品としての昆虫に焦点を当てている(93%)。分析した記事の 4%だけが動物の飼料としての昆虫の話題だけを取り扱うが、この報道のさらに 4%は昆虫の利用の両方の側面に言及している。

(2014 年と 2015 年の各種ドイツの印刷物及びオンライン上のメディアの記事に基づく)

新聞

全ての分析した記事の過半数は昆虫のタンパク質含有量の多さについてコメントしている(60%)。グローバルな食品問題を解決するために実行できるアプローチとしての利用が 2 番目によく言及される利点で(39%)、飼料変換効率の高さがそれに続く(32%)。報道される他の側面には微量栄養素(28%)と温室効果ガスの排出量が少ないこと(24%)がある。

- ・ タンパク質含有量：60%

- ・ グローバルな食品問題：39%
- ・ 飼料転換効率：32%
- ・ 微量栄養素：28%
- ・ 温室効果ガスの低排出量：24%

＜リスクコミュニケーションで分かったこと＞

ー結果から行動方針に適した助言を推論できるようになったー

一般人に食用昆虫をテーマとした情報が必要である。特に、食品や飼料としての昆虫の潜在的な健康リスク(70%)、生産工程(65%)、栄養含有量(64%)に関する詳細情報が必要である。

加工や起こりうる健康リスクの情報は、一般人の昆虫食の支持を増やす。加工食品の形をとって「認識できないようにした」昆虫も、元の状態の昆虫よりも受け入れやすさが増す傾向にある。

＜結論＞

この研究の結果、ドイツ人の大多数は中期的に彼らの食事の定番として昆虫が定着するとは信じていないことが示された。家畜用の飼料としての昆虫については、より楽観的である。

＜BfR 研究「食用昆虫」＞

サブプロジェクト1

- ー 代表的な集団調査：一般人は食品としての昆虫をどのようにとらえる？
- ー 方法：電話の無作為抽出法による代表的な消費者調査
- ー 研究期間：2016 年 4 月
- ー サンプル：ドイツのドイツ語圏の 14 歳以上の集団による 1,000 人の回答者

サブプロジェクト2

- ー メディア分析：ドイツの印刷物やオンラインメディアの選択で食品や飼料としての昆虫の話題は、どのように、どの程度報道された？
- ー 方法：ドイツの印刷物やオンラインメディアの内容の分析
- ー 研究期間：2014 年 4 月から 2015 年 12 月
- ー サンプル：各種印刷物やオンラインメディアの全部で 87 の記事(記録された地域を超えた新聞、選択されたベルリンの新聞、週刊新聞/雑誌)の、食用昆虫についての報道の種類と頻度を分析した。

追加情報

BfR シンポジウム「食品や飼料としての昆虫：未来の食品？」

2016 年 5 月 24 日のシンポジウムの報告書

Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit

(消費者保護及び食品の安全性のためのジャーナル)

2016 年 9 月、11 巻、3 号、pp 281–289

「リスク認識」

- 昆虫を食べますか？ 実践する前にもっと理論を示して

世界の多くの地域で、コオロギ、ゴムシダマシ、渡りバッタといった昆虫が食されている。EU 食品法では新規食品とみなされ、承認される方向にある。2017 年の春、スイスでも食品として公的に認可された。しかし、公の議論は始まったばかりである。毒性学的検討、汚染物質や残留レベルの見極め、アレルギー性の検討、微生物学的リスクの検討は行われていない。ドイツ国民の間で昆虫食がどのように考えているのかを知るため、BfR は 2 件の調査を行っている。

- ✓ ドイツ人の 63%は昆虫食が健康リスクを生じることには無いと考えているが、実践しようとは思っていない。
- ✓ 72%が昆虫食のことを聞いたことがある。昆虫はタンパク質、栄養素およびビタミンが豊富であると考えられており、世界の食糧事情の点から重要な食糧源であるとみなされている。
- ✓ 昆虫食を嫌悪する(46%)主な理由は、親近感がない(13%)こと、衛生面と消化性に懸念があること(15%)である。
- ✓ 昆虫食がメディアに取り上げられた数は、2014 年に 27 件であったのが 2015 年には 60 件に倍増している。多くが昆虫食の良い面を取り扱っている。

消費者は、昆虫食が及ぼす健康へのリスク、昆虫食の生産方法、栄養素含量について、もっと情報を得たいと望んでいる。こうした情報が伝わると、昆虫食が受け入れられることにつながる可能性がある。加工食品として昆虫を分からないように使用する方が、元の形のままよりも受容され易いものと考えられる。

より詳しい情報(ドイツ語)は、以下のサイトから。

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00003-016-1038-0>

- BfR シンポジウム「食品や飼料としての昆虫－将来の食糧？」のプレゼン概要

Overview of the presentations at the BfR Symposium "Insects as Food and Feed - Food of the Future?" on 24 May 2016

http://www.bfr.bund.de/en/overview_of_the_presentations_at_the_bfr_symposium_insects_as_food_and_feed_food_of_the_future_on_24_may_2016-197739.html

2016 年 5 月 24 日に開催されたシンポジウムのプレゼン資料を公開。(5 演題のうち WHO/FAO 以外の 4 演題はドイツ語)

- 食品と飼料としての昆虫 — 未来の食べ物？

Insects as Food and Feed - Food of the Future?

24.05.2016

http://www.bfr.bund.de/en/press_information/2016/16/insects_as_food_and_feed_food_of_the_future_-197552.html

食品と飼料としての昆虫が引き起こす健康リスクの可能性についてさらなる研究を行う必要がある。このため、ドイツ連邦リスク評価研究所（BfR）は2016年5月24日にベルリンで「食品と飼料としての昆虫 — 未来の食べ物？」という BfR シンポジウムを計画している。「食品源としての昆虫について一般市民の関心がますます高まっている」と BfR 副長官 Reiner Wittkowski 博士は述べた。「それだけに、それらの新しい食品がどの程度安全かを明確にすることがいっそう重要である。」今日まで、昆虫の毒性的及び微生物学的安全性に関する研究はほとんどない。環境にやさしくコストがかからず生理学的倫理的にメリットがあり、肉を上回る価値があると主張されているため、昆虫は画期的で持続可能な食品源であると議論されている。最新の BfR 代表調査によると、ドイツ人の大多数は昆虫の摂取は健康リスクを引き起こさないと考えているが、昆虫を進んで食べる前にもう少し情報を得たいと考えている。

- BfR シンポジウム—食品や飼料としての昆虫—将来の食糧？

BfR Symposium - Insects as Food and Feed - Food of the Future?

24.05.2016

http://www.bfr.bund.de/en/event/bfr_symposium_insects_as_food_and_feed_food_of_the_future_-197153.html

欧州では、昆虫をヒトが喫食したり、動物用飼料に使用することは一般的ではない。しかし、公開討論が行われ始めた分野ではある。現在のところ世界で消費されている昆虫の大部分は天然のものであるが、狙いとしては食用や飼料用にできるように養殖しようというものである。安全性への懸念などから、技術面での研究が必要だと考えられている。

BfR は、食品及び飼料としての昆虫に関する市場、規制、栄養、生産、健康リスク等の知見についてシンポジウムを開催する。登録を受付中。

オランダ RIVM（国立公衆衛生環境研究所：National Institute for Public Health and the Environment）

<http://www.rivm.nl/en/>

- 新規タンパク源やそれ由来製品申請におけるタンパク質の質と食品安全について

Protein quality and food safety aspects of novel protein sources and of their product applications

2016-02-22

http://www.rivm.nl/en/Documents_and_publications/Scientific/Reports/2016/februari/Protein_quality_and_food_safety_aspects_of_novel_protein_sources_and_of_their_product_applications

社会には、大豆やルーピン、昆虫（ミールワームやイナゴ）や藻類など、食事に新しいタンパク源を使うことへの関心が高まっている。理由の一部は動物由来タンパク質の環境影響への懸念がある。RIVM は新規タンパク源の使用が食事由来総タンパク摂取に影響するかどうかについてオランダの状況を探った。

結果として、肉、魚、卵などのよく使われているタンパク源が完全に新しいタンパク源にとってかわることはまずないことが明らかになった。一部が代わるあるいは追加のタンパク源になる可能性があり、総タンパク質摂取量は減らないようである。新規タンパク源のタンパク質の質は通常の動物タンパク質よりやや劣る。理由は消化吸収が悪いこととアミノ酸組成が好ましくないためである。しかし組み合わせて使うことで総摂取タンパク質の質は変わらないだろう。EU ではこれら新規タンパク源は新規食品規制の対象となり販売前に安全性が確認される。この報告ではアレルギー誘発性について焦点を絞った。大豆とルーピンについてはアレルゲンとなることがわかっており、食品の包装に表示されている。

フランス食品・環境・労働衛生安全庁（ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de L'alimentation, de L'environnement et du Travail)

<http://www.anses.fr/>

- 昆虫の食品や飼料としての利用と昆虫を食べることの健康リスクについての科学的知識のレビュー

OPINION of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety on "the use of insects as food and feed and the review of scientific knowledge on the health risks related to the consumption of insects"

Maisons-Alfort, 12 February 2015

<https://www.anses.fr/en/documents/BIORISK2014sa0153EN.pdf>

ヒトの昆虫食については今のところニッチ市場であり、非意図的昆虫食は大体年に500g から 1kg の間である（食品の重量当たり 0.1%までは昆虫やその断片が入っていることは認められる）。評価では、昆虫の栄養、養殖、加工、環境影響、ハザード、規制

などについて検討した。

昆虫食のハザードは、毒物や非栄養因子を生成する昆虫類に特徴的な内分泌物質、健康リスクの管理を保証できるような飼育・製造条件、アレルギーなど特定の消費者における特別な感受性、などに関連する。従って、それらに関する研究、EU 規模での食用・非食用昆虫種と食用にできる時期に関するリストの作成、動物福祉に関する調査、健康リスク管理を保証するための昆虫類の飼育条件の枠組みの定義化、消費者及び労働環境でのアレルギーリスクの予防政策の構築などが望まれる。

* Insects as food: a review of potential hazards and research needs

09/04/2015

<https://www.anses.fr/en/content/insects-food-review-potential-hazards-and-research-needs>)

フィンランド食品安全局 (Evira/ Finnish Food Safety Authority)

<https://www.evira.fi/en/>

● 昆虫食がまもなく食事の一部となる

Insect food soon to become part of our diet

25.9.2017 08:52

<https://www.evira.fi/en/foodstuff/current-issues/2017/insect-food-soon-to-become-part-of-our-diet/>

フィンランドにおいても、昆虫がまもなく食用に飼育・販売され、昆虫食として提供されるようになるだろう。フィンランド食品安全局 Evira は、消費者に対して製品の安全性を保証するために、業界全体に向けたガイドラインの作成を始めた。ガイドラインが完成したら、昆虫を食用として製造したい製造業者は食品事業者として登録しなければならないことになる。

Evira は、昆虫の飼育と販売に関する食品業界のガイダンスを作成しているところである。このプロジェクトは 11 月初めには完了予定である。ガイドラインの作成は、昆虫事業者と協力して行われており、食品管理局側と、昆虫ブリーダーや昆虫食を製造する企業の側の両者が使用することを意図している。ガイドラインが整えば、昆虫生産者は食品事業者として登録が可能になり、昆虫食の販売を始めることができるようになるだろう。

法解釈の変更を伴うが、昆虫生産は今では食品製造の法的枠組みの中にあるとみなされ、食品法令に定められている前提条件や管理業務が要求される。食用の昆虫を製造および販売するためには、例えば、製品は消費者にとって安全でなければならず、製造工

程で良好な衛生状態が遵守され、さらに正しく十分な情報がラベル表示されなければならない。昆虫のタンパク質がアレルギー反応を引き起こす可能性も表示されなければならない。

諸々の計画によると、フィンランドでは、農場で飼育されたものを使用する場合に限って、丸ごとの虫体が認可されるであろう。昆虫を細かく切ったり、すりつぶしたりすることもできるが、一部を除去したり、昆虫から成分を単離または抽出したりしてはならない。Evira は食用に適した昆虫の種類のリストをまとめる予定である。例えばキッチンの飾り物として現在市販されている昆虫製品は、製品が食品法に従って管理されておらず、安全性を確認することができないため、食品としての市販は許可されない。

新ガイダンスが利用できるようになると、Evira のウェブサイト上により詳細な更新情報が提示されることになっている。Evira は秋中に、食品管理局員や食品事業者向けにトレーニングを行う予定である。

カナダ食品検査庁 (CFIA : Canadian Food Inspection Agency)

<http://www.inspection.gc.ca/english/toce.shtml>

● 食用昆虫：虫をかじる前に知っておきたいこと

Edible insects: what to know before biting into bugs

2021-09-21

<https://inspection.canada.ca/chronicle-360/food-safety/edible-insects/eng/1632237657892/1632245370544>

食用昆虫において、カナダ食品検査庁 (CFIA) が消費者を守るために行っていること (化学物質や微生物ハザードの監視、またハザードに対する対策) について紹介。

食用昆虫は、カナダでオンラインや店頭で販売されている他の食品と同様、安全要件を満たさなければならない。製造業者は食用昆虫を輸入、輸出または州間で販売する際、カナダ食品安全規則(SFCR)に従わなければならない。CFIA とヘルスカナダはともに食用昆虫のハザードを監視する役割がある。ヘルスカナダは、カナダ人に販売される食品の安全性と栄養の質について具体的な政策を持っている。CFIA は、食品に対して農薬、重金属、細菌性病原体などの検査を行い、これらの政策が守られていることを確認する一方で、検査結果が満足のいくものでなかった場合や苦情が寄せられた場合には、カナダの食用昆虫施設の査察も行っている。

1. 化学的ハザードの監視

化学的ハザードは、通常、農薬や重金属を指す。そのリスクは、化学物質の種類、食

品中の量、その食品を生産にわたりどの程度を摂取するかによる。残留化学物質は昆虫由来食品に低濃度で存在する可能性があり、その汚染源には様々な可能性がある。例えば、

- ・ 環境及び産業汚染(土壌、水、空気)の残留濃度による
- ・ 収穫時の昆虫の成長段階とその寿命
- ・ 昆虫の餌に含まれる化学物質の種類

食品中に痕跡程度の農薬が含まれることは想定外ではない。ただし、最大残留基準を大幅に超過する高濃度の検査結果が出た製品については、潜在的な健康リスクを評価するためにヘルスカナダに送られる。金属は、環境や、穀物、草、種子など昆虫の餌に由来する可能性もある。CFIA は食用昆虫に少量のヒ素、カドミウム、鉛、水銀を検出しているが、痕跡程度の農薬や金属があっても食べるのに危険というわけではない。適切に使用され、監視されている農薬はヒトに健康リスクをもたらすことはない。

2. 細菌のハザードの監視

細菌ハザード(病原菌など)は、病気の原因となる可能性のある微生物のことである。CFIA は最近1年かけて小売用食用昆虫サンプルの小規模なターゲット調査を実施した。全てのサンプルにサルモネラ菌や大腸菌(*E. coli*)がないことがわかった。大腸菌は食品生産チェーン全体における衛生状態の指標であるため、この結果から検査した食用昆虫は衛生的な条件下で生産されていることが示された。

3. ハザード検出時の対処

CFIA は、食品中にハザードを検出した場合、その製品をさらに評価し、健康リスクがあるかどうかを判断する。食品がヒトの摂取に安全ではないとみなされると、CFIA と企業は消費者保護のため、製造業者や輸入者への通知、是正措置の要求、追加検査、詳細検査、製品の押収、リコールなどで対処する。

● 食品安全検査報告 - 残留化学物質及び微生物報告

Food Safety Testing Bulletin - Chemical residue and microbiology report

2021-07-07

<https://inspection.canada.ca/food-safety-for-industry/food-chemistry-and-microbiology/food-safety-testing-bulletin-and-reports/eng/1453324778043/1453327843364#a1>

カナダの消費者が 2017 年から 2018 年に入手可能だった食用昆虫の微生物および化学ハザードの解析

CFIA はモニタリング計画の一環として食品安全を促進するために微生物汚染、残留農薬及び有害金属の存在を監視する。新興の「新規食品」は、食用昆虫である。これには、乾燥昆虫/シルクワーム(蚕よう蠕)全体、プロテインパウダー(コオロギ単体あるいは主原料)、また原料として昆虫を含む複合原料の製品(プロテインバーやミックススムージーなど)を含む。CFIA は、化学物質及び微生物による汚染レベルの基礎情

報を得るために昆虫を原料に含む食品を検査し、その結果を査読付き科学論文として発表した。検査したすべての製品に微生物汚染（例：サルモネラ属菌（*Salmonella* spp.）や大腸菌（*E.coli*））はないという結果を示した。これらサンプルは残留農薬と有害金属についても検査された。全体として、検査した製品の 89%がカナダの残留農薬基準を満たしていた。すべての検査結果を評価したところ、いずれのサンプルも消費者にリスクをもたらすことはないと考えられた。

● カナダの消費者が入手可能な食用昆虫の微生物および化学ハザードの解析

Journal of Food Protection

Analysis of Microbiological and Chemical Hazards in Edible Insects Available to Canadian Consumers

Beata Maria Kolakowski; Krystyna Johaniuk; Helen Zhang; Etsuko Yamamoto

J Food Prot (2021) <https://doi.org/10.4315/JFP-21-099>

<https://meridian.allenpress.com/jfp/article/doi/10.4315/JFP-21-099/464903/Analysis-of-Microbiological-and-Chemical-Hazards>

食用昆虫は多くの国で新規の食品である；その高タンパク/低脂肪含有、簡単な生産及び環境への影響が少ないため人気が高まっている。我々の知る限り、これは食用昆虫の微生物及び化学ハザード双方に取り組む初めての報告書である。小売販売店やオンライン購入でサンプルは採集された。乾燥した昆虫そのまま又は昆虫パウダーの合計 51 サンプルについて、食品生産チェーン全体の衛生状態の指標となる大腸菌（*E. coli*）及び細菌性病原体のサルモネラ属菌（*Salmonella* spp.）の検査を行った。どのサンプルにも、（100 コロニー形成単位（CFU）/g 以上で）サルモネラ属菌も大腸菌も見つからなかった。コオロギの 43 サンプル（プロテインバー、パウダー、粉末、昆虫そのまま）とシルクワーム（昆虫そのまま）の 4 サンプルを対象に、最大 511 の農薬が分析された。うち 39 サンプルに 1~4 種の残留農薬が含まれた；34 サンプルはカナダの規則に適合し、5 つのサンプルが違法であった。グリホサートとその代謝物である AMPA を主な残留物として、全部で 7 種の残留農薬が検出された。農薬を検査した 19 のサンプルについて、金属検査には不十分な残量ではあったものの、ヒ素、カドミウム、水銀及び鉛についても分析した。ヒ素、カドミウム、鉛及び水銀の陽性率はそれぞれ 100%、79%、58%、74%であった。ヒ素の検出濃度の範囲は 0.030 mg/kg から 0.34 mg/kg、カドミウムは 0.031 mg/kg から 0.23 mg/kg、鉛は 0.019 mg/kg から 0.059 mg/kg、水銀は 0.00094 mg/kg から 0.028 mg/kg であった。微生物汚染の検出がなかったことと、製品で観察された農薬及び金属の陽性率及び濃度に基づき、ヘルスカナダは分析されたすべての昆虫食品はヒトの消費にとって安全であると判断した。今回の調査は限定的なものであり、CFIA はこの新規食品を継続的に監視する予定である。

韓国食品医薬品安全処 (MFDS : Ministry of Food and Drug Safety)

<http://www.mfds.go.kr/index.do>

● 食薬処、「代替食品表示ガイドライン」を設け、食品産業活性化支援

食品表示広告政策課 2023-11-27

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=47807

食品医薬品安全処は、植物性原料などを使用して動物性食品と同様に作った「代替食品*」を製品に表示しようとする営業者が遵守しなければならない基準と方法を提示する「代替食品の表示ガイドライン」を作成・配布すると明らかにした。

* 代替食品：動物性原料の代わりに植物性原料、微生物、食用昆虫、細胞培養物などを主原料として使用し、既存食品と同様の形態、味、組織感などを持つように製造したことを表示して販売する食品

今回のガイドラインは、代替食品に対する消費者の関心が高まり世界的に関連市場が急成長*するにつれ、代替食品の特性を説明できる表示・広告を可能にすることにより、関連業界の多様な製品開発を支援する一方、消費者の知る権利と選択権を保障するために設けられた。

* 世界代替食品市場規模：（'19年）103.5億ドル→（'25年）178.3億ドル見通し（出典：韓国農村経済研究院, '23.3月）

①ガイドラインの適用範囲は、代替食品を製造・加工・輸入・小分けする営業者が代替食品の容器又は包装に代替食品であることを表示する場合に適用する。

②表示しなければならない項目には、代替食品の主表示面*に「代替食品」であることを明確に示す、▲「代替食品」用語、▲動物性食品などと誤認・混同しないようにする製品名、▲動物性原料含有の有無など、3項目すべて表示しなければならない。

* 主表示面：容器・包装の表示面のうち商標、ロゴなどが印刷されており、消費者が食品や食品添加物を購入する際に通常見ることができる面

③代替食品に表示しなければならない3項目の詳細表示方法は以下の通りである。

「代替食品」という用語は、消費者が簡単に確認できるように14 pt以上の文字で表示しなければならない。

製品名は「植物性製品」であることを強調したり、代替した原材料の名称を含む場合に限り、プルコギ、ハンバーグなど動物性食品に使用される料理名などを使用できる。ただし、誤解を避けるために「牛肉」「豚肉」「牛乳」「卵」などの一次産物の名称は代替食品の製品名に使用できない。

<製品名の表示方法*>

√植物性製品であることを強調した名称（「植物性」＋○○○）

* 例）ベジタブルハンバーグ（料理名）、ベジタブルプルコギ（料理名）

√代替した原材料名を強調した名称（「原材料名」＋○○○）

* 例）大豆で作ったハンバーグ、大豆で作ったプルコギ

√動物性原材料名・料理名などが含まれておらず、消費者の誤認・混同の懸念のない名称

* 例）ヴィーガンソイプルコギ、ベジボール、プラントボール

* 3つの中から1つを選択し、代替食品の製品名で表示

また、動物性原料が含まれていない事実を 12 pt 以上の文字で表示しなければならない。ただし、食品製造に使用されたソースや調味料などに動物性原料が微量に含まれている場合には、その事実を同じ大きさで表示しなければならない。

*（例）「肉が入っていません」または「肉無添加」/「原材料中○○調味料には動物性原料○○が使用されています」

ちなみに、「代替食品の表示ガイドライン」を遵守する場合に限り、現在不当な表示・広告で禁止している他の食品タイプの名称（例：ソーセージ、ハムなど）を使用したり、使用していない原材料を強調（例：MEAT FREE など）する表示・広告を例外的に使用できるようにした。

* 積極行政委員会で関連法令改正前まで「代替食品の表示ガイドライン」を優先施行できるように審議・議決（‘23.9.26）

食薬処は、これまでのガイドラインの整備過程で各界の意見を反映するために消費者団体、畜産団体、食品業界、学界、関係省庁などが参加する「代替食品表示協議体（‘22.10.～’ 23.8.）」を運営し、代替食品の表示基準・方式に対する十分な意見を収束するなど議論過程を経た。今後もガイドラインを運営する過程で消費者・営業者など各界の意見をさらに取りまとめ不備点を補完して関連法令を改正していく予定である。

食薬処は、消費者が代替食品を購入する場合、代替食品の主表示面に表示される代替食品、製品名、動物性原料含有の有無など 3 点を確認してから購入することを求め、今後も消費者の健康と選択権確保のための情報提供を強化し、より安全な食品消費環境が造成されるよう努力する。

< 添付 >

1. 代替食品の主表示面表示の例

2. 主な質疑応答

● 食薬処、代替食品の定義と安全管理基準を用意

食品基準課 2022-12-22

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=46903

□ 食薬処は代替食品と高血圧患者用食品の安全管理基準を新設することを主な内容

とする、「食品の基準及び規格」告示改正案を12月22日に行政予告する。

○ 今回の改正案は代替食品や患者用食品などフードテック基盤食品の安全基準を先制的に設け、将来の食品産業の成長を推進する一方、菜種油のエルカ酸*や玄米の無機ヒ素基準などを新設して国内流通食品の安全管理を強化するために設けられた。

* 菜種に含まれる心臓毒性のある脂肪酸（一日摂取許容量 0.4 g/60 kg/日）

□ 主な内容は、▲代替食品の定義・基準新設、▲高血圧患者用食品と水分・電解質サプリメント食品の食品類型・標準製造基準新設、▲菜種油（キャノーラ油）のエルカ酸基準新設、▲玄米の無機ヒ素基準新設、▲残留農薬・動物用医薬品の残留許容基準新設・改正などである。

○ 最近、多様な代替食品が開発・生産されるなど市場規模が拡大*されることにより、代替食品に対して効率的に安全管理ができるよう「代替食品として表示して販売する食品」の定義と基準・規格を新設する。

* 国内植物たんぱく質ベースの代替食品の市場規模は2016年4,760万ドル（約618億）規模、2017年から年平均15.7%成長し、2026年には2億1,600万ドル（約2,800億）に達すると予想（経済研究院農政フォーカス、'20年）

-（定義）「代替食用として表示して販売する食品」の定義を動物性原料の代わりに植物性原料、微生物、食用昆虫、細胞培養物などを主原料として使用して食用油脂類（植物性油脂類は除く）、食肉加工品および包装肉、卵加工品、乳加工品、水産加工品、その他の食肉または、その他の卵製品などと同様の形態、味、組織感などを有するように製造したことを表示して販売する食品として規定する。

-（基準・規格）代替食品であることを表示して販売する場合、既存に適用していた個々の食品類型の基準・規格に加え、新設された代替食品の共通*基準・規格まで適用する。

* 酸価、過酸化値、大腸菌群、細菌数、大腸菌

○ 高血圧、高熱・急性下痢患者など関連疾患用食品が多様に製造できる基盤を設ける。

- 現在、患者用食品は糖尿病患者用など4疾患用*に対してのみ標準製造基準を提供しており、高血圧などその他の患者用食品は製造者が直接基準を設けて実証資料を準備しなければならない困難があった。

*（現行標準製造基準）糖尿病患者用、腎疾患患者用、腸疾患患者用、がん患者用

- 慢性疾患の疾患管理に役立つように今回、高血圧患者用食品と水分・電解質サプリメント食品の食品類型と標準製造基準を新設する。

- ちなみに食薬処は様々な種類の患者用食品が開発・供給できる基盤を用意するため6月にがん患者用食品の基準を新設し、2026年までに肺疾患患者用など3種の基準を追加用意*する計画である。

*（追加対象）肺疾患用（'24）、肝疾患用（'25）、炎症性腸疾患用（'26）

○ 現在、食用菜種油製造時には毒性脂肪酸であるエルカ酸含有量を下げた改良菜種種

子（キャノーラ、Jungmo7001 など）*が使用されており、別途エルカ酸の基準を定めていない。

- ただし、菜種栽培時にエルカ酸含有量の高い野生菜種が混入して栽培される可能性があり、多くの国**でエルカ酸の基準が定められている点を考慮して、菜種油のエルカ酸含有量基準（2%以下）を新設する。

*（キャノーラ）Canadian Oil Low erucic Acid、カナダ産低エルカ産菜種種子、（Jungmo7001）国内産低エルカ産菜種種子（農村振興庁国立食糧科学院）

*（エルカ酸基準）Codex、米国、カナダ、EU2%以下

○ 今年の重金属基準再評価の結果、食品摂取による無機ヒ素の曝露量は安全な水準だったが、曝露量が増加した玄米の先制的安全管理のために国際基準（CODEX）水準である 0.35 mg/kg 以下で玄米の無機ヒ素基準を新設する。（' 22.11.30. 配布「食品中の重金属 4 種基準・規格再評価結果公開」報道資料参照）

※ 現行無機ヒ素基準：（白米）0.2 mg/kg 以下、（玄米、米糠、米飯、ひじきまたはアカモクを使用した加工品）0.1～1 mg/kg 以下

○ 農産物のイミノクタジン（殺菌剤）など 146 種の農薬に対して残留許容基準を新設・改定*し、畜産物にメニコクロフォラン（駆虫剤）など動物用医薬品**2 種とジメテナミド（除草剤）など 2 種の殺虫剤***に対する残留許容基準を新設する。

*（新設）新規登録されたフルインダピル（殺菌剤）など 133 種基準新設、（改正）農薬再評価結果を反映しデルタメトリン（殺虫剤）など 43 種農薬の基準を再設定

** 使用が許可されているが残留基準がないメニコクロフォランなど 2 種に対して残留許容基準新設

*** 飼料などから畜産物に移行する可能性のあるジメテナミドなど 2 種農薬の基準新設

- 農薬残留許容基準検索の利便性と理解度増進のために、農産物と畜・水産物に分けて管理されていた農薬残留許容基準を「食品中農薬残留基準」に統合し整備する。

□ 食薬処は今後も国民の健康保護のために食品安全は強化するとともに、国民便宜と食品産業活性化支援のために変化する流通・消費トレンドに合わせて制度を合理的に整備するよう継続的に努力する。

● 「タイ産氷菓、中国産昆虫加工食品」に対する輸入者検査命令を施行

輸入検査管理課 2022-06-27

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=46472

食品医薬品安全処は、輸入食品など輸入・販売業者がタイ産氷菓の大腸菌群項目と中国産昆虫加工食品*の酸価・過酸化物質価・大腸菌項目に対する安全性を事前に確認した後、国内に輸入申告するようにする「検査命令」を 6 月 27 日から施行する。

* 昆虫加工食品：食用昆虫を乾燥、粉末などに加工したもの、またこれに食品又は食品

添加物を加えて加工したもので、今回の検査対象は食用蚕（*Bombyx mori* L.）のさなぎを原料として製造した製品に限る

今回の検査命令は、▲タイ産氷菓（大腸菌群）、▲中国産昆虫加工食品*（酸価、過酸化価、大腸菌）に対する通関検査の結果、当該検査項目に不適合が繰り返し発生したことにより、輸入者の安全管理責任を強化するための措置である。

* 輸入される中国産昆虫加工食品の大部分が食用蚕（*Bombyx mori* L.）のさなぎを原料として製造された製品

食薬処は今後も安全な輸入食品が供給・流通できる環境を作るために、不適合が繰り返し発生したり、有害影響の懸念がある食品を中心に安全管理をより一層強化していく。

<添付> 輸入食品など検査命令運営現況

● 「トノサマバッタ（バッタ科）」10番目の食用昆虫として認定

新素材食品課 2021-09-13

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=45749

食品医薬品安全処と農村振興庁は、将来の食料として食用昆虫が注目される中、最近増加している昆虫飼育農家*で食品原料として登載要請されたバッタ科の昆虫「トノサマバッタ *Locusta migratoria*」を9月13日、新規食品原料として認定した。

* 国内昆虫産業現況（飼育農家/販売額）：（'16年）1,597ヶ所/225億→（'17年）2,136ヶ所/345億→（'18年）2,318ヶ所/375億→（'19年）2,535ヶ所/405億→（'20年）2,873ヶ所/414億

今回の食品原料認定*は、農村振興庁がトノサマバッタの特性・栄養性・毒性評価、飼育・製造工程標準化などを進め、食薬処が安全性を評価して食用昆虫として認定した。

* 新食品原料認定制度：国内で食品として食経験がない原料に対して安全性などを評価することで、新規食品原料と認められた場合には食品公典登載前まで一時的に使える（食品衛生法第7条第2項）

今回のトノサマバッタの食用昆虫認定で、韓国で食べることができる昆虫は、白蠶蚕、食用蚕（幼虫、さなぎ）、ハネナガイナゴ、チャイロコメノゴミムシダマシ（幼虫）、コガネムシ（幼虫）、カブトムシ幼虫、フタホシコオロギ（成虫）、ツヤケシオオゴミムシダマシ（幼虫）、ミツバチのさなぎ等、合計10種に増えた。

トノサマバッタは既に食用昆虫として使われているバッタと同じバッタ科だが、大きさは2倍以上で、飼育期間は半分程度と生産性に優れている。また、タンパク質（70%）と不飽和脂肪酸（7.7%）が豊富で、食品原料としての価値が高く、食材として多様な食品に利用することができる。トノサマバッタの食品原料認定に先立ち、農業振興庁は約2年間（'19.1.1～'20.12.31）、トノサマバッタの特性、栄養性、毒性評価をはじめとして最適な製造工程の標準化*などのための研究を進めていた。

* 製造行程開発：絶食（1～2日）→冷凍保管（12時間以上）→解凍（5℃）→洗浄（翼

と足除去、原料重量の10倍の水に5分間浸漬、流水で10秒×3回洗浄後5分間水抜き) →殺菌(110℃、10分) →凍結乾燥(-40℃、12時間以上) または凍結乾燥後粉碎(100mesh以下)

食薬処は研究結果に基づいて約8ヶ月間('20.12.31~21.9.13)、国内外における認定状況や食用の現状、人体への影響などの安全性データを検討し、専門家の意見を集めるなど科学的な評価*を経てトノサマバッタを新食品原料として認めた。

* 安全性評価など食品原料認定時に提出を要する資料：提出資料の要約、起源および開発経緯、国内外における認定および使用状況等に関する資料、製造方法に関する資料、原料の特性に関する資料、安全性に関する資料

食薬処は、「今後も科学的な安全性評価に基づいて食品原料の認定範囲を拡大し、消費者に多様で安全な食品原料が提供されるように一層努力する」と述べた。農村振興庁は、「昆虫は、今後、代替タンパク質源としての栄養学的価値に優れ、環境にやさしい飼育特性でカーボンニュートラルの実現に適した食べ物であり、開発価値がある」とし、「トノサマバッタが食品原料として追加されたことに基づいて、昆虫飼育農家の所得増大と昆虫食品産業の活性化を期待する」と述べた。

<添付>

1. トノサマバッタ食品原料認定現況
2. 食品原料として使用可能な食用昆虫

● 中国産冷凍ヤマユガさなぎ回収措置

輸入流通安全課 2021-02-16

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=45055

食品医薬品安全処は、輸入食品など輸入・販売業者が輸入・販売した「冷凍カイコさなぎ(昆虫加工食品)」が「ヤマユガさなぎ」と確認されたため、該当製品を販売中断及び回収措置する。

※ カイコさなぎ(*Bombyx mori* L.)は食用可能、ヤマユガさなぎ(*Antheraea pernyi* 又は *Antheraea yamamai*)は、国内で食用として許可していない

● 「食用昆虫」重金属基準強化でさらに安全に管理する

有害物質基準課 2021-01-04

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=44928

食品医薬品安全処と農村振興庁は、食用昆虫全体に重金属管理対象を拡大し、統合基準を設けて合理的に管理する計画だと発表した。これは、食用昆虫飼育農家の重金属管理基準改善要請を契機に、農村振興庁が食用昆虫飼育現況調査と現場意見聴取を通じて、全国主要食用昆虫4種とコガネムシ幼虫餌源、補助餌源などを対象に、重金属調査を実施したことによる。食品医薬品安全処は、重金属管理政策、危害性などを考慮して、重

金属統合基準案を用意し、2020 年 12 月 23 日行政予告した。

現在の食用昆虫重金属基準は、ミールワーム(*Tenebrio molitor* L.)幼虫、シラホシハナムグリ(*Protaetia brevitarsis*)幼虫、フタホシコオロギ(*Gryllus bimaculatus*)、カブトムシ(*Allomyrina dichotoma*)幼虫など 4 種にのみ設定されており、残りの食用昆虫 3 種に基準がない状況である。今回の改正により、重金属基準がなかったハネナガイナゴ (*Oxya japonica* Thunberg)、白疆蚕 (蚕の幼虫がハクキョウサンビョウキン *Eauveria bassiana* (Bals.)の感染により硬直死した虫体)、食用蚕 (*Bombyx mori* L.) 3 種を含む食用昆虫 (乾燥物) 全体に、鉛、カドミウム、無機ヒ素すべてが 0.1 mg/kg 以下で管理されることになり、今後新たに認められる食用昆虫にも同じ基準を適用する。

※ ただし、飼育環境改善研究が進行中であるシラホシハナムグリ幼虫、カブトムシ幼虫に対しては例外的に現在の鉛基準 (0.3 mg/kg) を適用

農村振興庁は、食用昆虫の飼育状況などの調査結果をもとに、食品医薬品安全処に改善案を提案し、強化された重金属基準に適合した食用昆虫が飼育・流通されるように餌源などを管理する。

● 「ミツバチのさなぎ」新しい食品原料と認定

新素材食品課 2020-07-09

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=44402

食品医薬品安全処と農村振興庁は、7 月 9 日「ミツバチのさなぎ」を新食品原料と認定した。

* 新食品原料の認定：国内で食品として摂取経験がない原料に対して安全性などを評価することで、新食品原料と認められた場合には食品公典登載前まで一時的に使える(食品衛生法第 7 条第 2 項)

今回の食品原料は、農村振興庁がミツバチのさなぎの特性・栄養性・毒性評価などを進めて、食薬処が安全性を審査して食用昆虫と最終認定したもの。今回の食品原料認定で、養蜂農家が女王蜂との交尾目的で利用して廃棄されたミツバチのさなぎを、新しい食品資源として活用できるようになった。ミツバチのさなぎは高タンパク(52%)食品で、炭水化物、脂肪、タンパク質など 3 大栄養素を等しく含有し、菓子、禅食などの原料として使うことができ、未来の食糧資源として活用価値が高いと評価している。また、気候変動、産業化などにより蜂蜜生産量が減る困難な状況で、養蜂農家には新しい所得源になると期待される。

今回のミツバチさなぎ食用昆虫認定で、韓国で食べることができる昆虫は、白疆蚕、食用蚕 (幼虫、さなぎ)、ハネナガイナゴ、チャイロコメノゴミムシダマシ (幼虫)、コガネムシ (幼虫)、カブトムシ幼虫、フタホシコオロギ (成虫)、ツヤケシオオゴミムシダマシ (幼虫) 等、合計 9 種に増えた。

* カイコの幼虫が白疆蚕 (ビャクキョウサン) 菌の感染により硬直死した虫体

● 「ツヤケシオオゴミムシダマシの幼虫」を新しい食品原料として認める

新素材食品課 2020-01-16

https://www.mfds.go.kr/brd/m_99/view.do?seq=43911

食品医薬品安全処と農村振興庁は1月16日、食用昆虫の一つで「ツヤケシオオゴミムシダマシ幼虫（脱脂粉末）」が新しい食品原料として認定*され、今後、食品として使用できるようになったと発表した。

* 新しい食品原料認定制度：国内で食品として摂取経験がない原料について安全性などを評価することで新たな食品原料として認められれば、食品公典登載まで一時的に使用することができる（「食品衛生法」第7条第2項）

これは、2014年ミールワームの幼虫とコガネムシの幼虫、2015年カブトムシの幼虫とコオロギを食品原料として認定したのに続きツヤケシオオゴミムシダマシの幼虫（脱脂粉末）まで、現在食用できる昆虫は全8種*。

国連食糧農業機関（FAO）が昆虫を「小さな家畜（little cattle）」と評価したように、将来の食糧資源として効用が大きいと期待される。

* イナゴ、カイコ（幼虫、さなぎ）、バッタ、チャイロコメノゴミムシダマシ（幼虫）、コガネムシ（幼虫）、カブトムシ（幼虫）、コオロギ（成虫）、ツヤケシオオゴミムシダマシ（幼虫）

今回認められたツヤケシオオゴミムシダマシの幼虫（脱脂粉末）は、農村振興庁が食品原料の特性、栄養性、毒性評価をはじめ、最適な製造条件の確立などのための研究を進めて、その結果をもとに食薬処が安全性審査などを経て認められた。

* 食品製造時の原材料としての適用が容易になるよう、一部の脂肪を除去（約36%→約21%）

「ツヤケシオオゴミムシダマシの幼虫」は食用昆虫である「チャイロコメノゴミムシダマシの幼虫」と同じ甲虫目ゴミムシダマシのミールワームの幼虫よりサイズが約1.5倍大きく「スーパーミールワーム（super mealworm）」とも呼ばれる昆虫で、タンパク質と不飽和脂肪酸を多く含有しており、食品原料としての価値が高く、菓子などの様々な食品原料として使用されることが期待される。

● 食用昆虫食品の原料認定拡大

食品基準課/畜産物基準課 2016-10-11

<https://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&pageNo=3&seq=33818&cmd=v>

食品医薬品安全処は、すべての営業者を対象にカブトムシ幼虫とコガネムシ幼虫の食品原料としての使用を認めることを主要内容にする「食品の基準及び規格」を10月11日行政令で発令した。これまではカブトムシ幼虫とコガネムシ幼虫は安全性の審査を受けて承認された企業だけが食品原料として使うことができた。

今回改訂には、他に▲笹の葉やキムチ由来菌株 *Weissella cibaria* など 17 品目の食品原料追加拡大、▲食品中農薬残留許容基準改訂、▲食品中動物用医薬品残留許容基準改訂などの内容も含まれている。

● 食品医薬品安全処、食品畜産物の管理基準の一元化

食品基準課 2016-08-03

<http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&pageNo=1&seq=32840&cmd=v>

食品医薬品安全処は、一般加工食品と畜産物加工品の食品類型整備、食品の保存及び流通基準合理化などを内容にする「食品の基準及び規格」全面改正(案)を準備した。カフェイン含量の高いコーヒー牛乳は乳飲料ではなくコーヒーに分類すること、未来資源食品の開発を活性化するために昆虫加工食品類型を新設すること、なども含まれる。

● 食品医薬品安全処 3 周年の成果及び今後の推進計画

食品政策調整課 2016-03-23

<http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&seq=30993>

食品安全基準大幅に改善

- ・ 衛生不良と判断された店舗率が半分以上減少： 6.9%(2013)→ 3.2%(2015)
- ・ 学校給食による食中毒患者数が 39%減少： 3,185 人(2012)→ 1,944 人(2015)
- ・ 子供給食管理支援センターの恩恵を受けている子供 6 倍拡大： 12 万名(2012)→ 71 万名(2015)
- ・ ナトリウム 1 日平均摂取量 15%減少： 4,583mg(2012)→ 3,890mg(2014)
- ・ HACCP 適用製品の割合生産量 54%水準到達： 40.1%(2012)→ 53.9%(2015)
- ・ 「輸入食品安全管理特別法」制定/施行(2016.2.)

医療分野

略

制度改革

未来食糧資源である食用昆虫など新しい食品原料拡大、など

● 食用昆虫、すべての事業者が使用できるように一般的な食品の原料に拡大！

食品基準課 2016-01-28

<http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&pageNo=1&seq=30272&cmd=v>

食品医薬品安全処は、制限的食品原料として認められているミールワームとフタホシコオロギをすべての事業者が食品原料に使用できるようにするという内容の「食品の基準及び規格」一部改正案を 1 月 27 日行政令で報告した。

今回の行政予告は、昨年 11 月 6 日開催された第 4 次規制改革閣僚会議で建議された事項を要請に従って速かに検討して用意した。

これまでミールワームとフタホシコオロギは国内で食品基準がなく、食薬処が安全性を検討して制限的食品原料として認められていた。

※ 制限的食品原料：会社が原料の起源、製造方法、安全性などに関する資料を提出して食薬処が安全性を検討後、関連基準及び規格が考試されるまで食品原料として認めたものであり、申請した会社に限って食品原料として使用できる。

● 昆虫、食品の原料として使用範囲が拡大される

新素材食品課 2014-07-16

<http://www.mfds.go.kr/index.do?mid=675&pageNo=1&seq=24532&cmd=v>

食品医薬品安全処は、7月15日、ミルワーム（学名: *Tenebrio molitor* Linne：チャイロコメノゴミムシダマシ）の幼虫について制限的食品原料としての使用を認可したと発表した。

※ ミルワームは世界的に最も多く食べられている甲虫目の昆虫で、未来の食糧資源として注目されている（FAO、2013年）

これは、農村振興庁で実施したミルワームの毒性評価などの研究結果と、昆虫の特性、製造方法、安全性、外国での使用現況及び学界・研究所・消費者団体等の意見を総合的に検討して認可したものである。特に、洗浄・殺菌等の工程を経て製造した幼虫は、タンパク質と脂肪の含量が全体構成成分の約80%以上を占めており、食品原料として価値の高いことが確認された。食薬処は、今後も食品原料の認定範囲を拡大し、多様な製品開発と消費者に安全な食品を提供しようと努力すると発表した。

シンガポール食品庁（SFA : Singapore Food Agency）<https://www.sfa.gov.sg/>

● 食用昆虫に関する SFA の声明

SFA's statement on Insects for human consumption

16 Oct 2022

https://www.sfa.gov.sg/docs/default-source/default-document-library/sfa-statement-on-insects-for-human-consumption_16oct22.pdf

SFA は、食用昆虫の生産開発や技術革新について動向を把握するとともに、食品や動物飼料としての昆虫の輸入について業界からの質問を受けている。現在、10社以上が食用昆虫製品の輸入と養殖に関心を寄せている。

SFA は特定の昆虫種の食品としての消費を許可している国々（EU、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、タイ）を参考にし、徹底した科学的レビューを行い、食用歴

のある特定の昆虫種について食品としての使用が許容されると評価した。SFA は、食用や飼料用の昆虫を輸入・養殖しようとする企業が満たさなければならない要件と追加的な事前ライセンス要件を設ける予定であり、10 月 5 日から 2022 年 12 月 4 日まで意見を募集する。

● 代替タンパク質の安全性

Safety of Alternative Protein

Saturday, November 21, 2020

<https://www.sfa.gov.sg/food-information/risk-at-a-glance/safety-of-alternative-protein>

代替タンパク質の安全性

シンガポールは革新的な都市として、現在各国が直面する困難な問題を解決するために新たな手段を試みる企業や組織のエコシステムをもっている。代替タンパク質などの革新的な製品は、比較的少ない土地と労働力で、また気候変動に強い持続可能な方法で生産できるため、食品の課題に対処できる可能性がある。この発展に対応するためにシンガポール食品庁は、シンガポールで販売される前に代替タンパク質製品が食品安全基準を満たすことを確保するための規制の枠組みを整備した。

この記事では代替タンパク質に関する情報や、それらは食べても安全かどうか、地方のスーパーマーケットのあなたの好きなバーガーのパティが、実際は代替タンパク質製品かどうかをどうやって調べることができるかについての情報を提供する。

代替タンパク質とは？

代替タンパク質とは、動物由来ではないタンパク質のことである。ダイズや小麦タンパクで作られた植物ベースの「疑似肉」製品などの代替タンパク質は、私達の食事で長く伝統的に機能しているものもある。

しかしながら、管理された状況下で育てられた培養肉又は細胞ベースの肉や、特定種の藻、菌類（マイコプロテイン）、昆虫など、食品として摂取歴のない他の代替タンパク質の形態もある。シンガポールでは、これらの代替タンパク質は新規食品と見なされ、市販食品での使用が認可される前に安全性が評価されなければならない。

代替タンパク質は食べても安全？

企業が食品を開発する時、新規であろうとなかろうと、食品の安全性は最重要検討事項でなければならない。

SFA は食品としての摂取歴のない代替タンパク質製品を生産する企業に、毒性、アレルギー誘発性、生産手段の安全性、摂取から生じる食事暴露などを含む、潜在的な食品安全リスクをカバーする安全性評価を実施するよう求めている。彼らは製造工程で 사용되는原料や、これらの工程が食品安全のリスクを防ぐためにどのように管理されているかについての詳細情報も提供しなければならない。

SFA は潜在的な食品安全問題が対処されているかを確認するために、これらの安全性

評価をレビューすることになっている。安全性評価が厳密にレビューされていることを保証するために、SFA は科学的助言を提供するための新規食品安全性専門家作業グループを 2020 年 3 月に設立した。専門家の作業グループは、アジア全域の健康製品規制システムの強化を追求する、規制の卓越性センター長が議長を務めている。このグループは、公的部門(A*STAR, HPB)からの食品毒性学、バイオインフォマティクス、栄養学、疫学の分野の 4 人の主要な専門家、公衆衛生政策の経験がある医師、そして食品科学、食品技術、食品微生物学(NUS, NTU)の 3 人の著名な大学教授、の 8 人の専門家で構成されている。

SFA は最新の動向に後れを取らないよう、食品の安全性を確保するために安全性評価の検討事項を更新し続けるつもりである。

SFA がシンガポールでの代替タンパク質の販売を許可している理由は？

食品の安全性は、それが新規食品となると、SFA の最重要検討事項である。食品としての摂取歴のない代替タンパク質は、SFA が安全性を評価し、摂取するのに安全であることが分かった後にしか販売は許可されない。

消費者は、代替タンパク質を食べているかどうか、どのようにしてわかるのか？

肉のように製品に表示するだけでなく、シンガポールであらかじめ包装されている代替タンパク質製品を販売する企業は、消費者がこれらの製品を消費するかどうか決める際に情報に基づいて決定することができるよう、本質を示すために、「疑似」、「培養」、「植物ベース」といった限定用語を製品包装に表示することが要求されるだろう。そのような限定用語の例は、植物タンパク質(ダイズや小麦など)から作られていて肉を含まない「疑似肉」製品や、すり身魚ペーストで作られた「カニカマ」の表示に見つけられる。

食品施設も販売されている食品の本質を顧客に明確に伝える必要がある。例えば、消費者に対して培養肉を従来通り生産した肉と偽って伝えることは許されない。

適切なセーフガードがある。代替タンパク質製品を販売し、販売されている食品の本質を偽って伝えているとみなされた食品業者や施設は、食品販売法に基づいて有罪判決を受ける可能性がある。

● その他

EurekAlert

- 新しい報告書：欧州科学アカデミーは食糧と栄養の安全保証に緊急対策を呼びかける

New report: European science academies call for urgent action on food and nutrition security
5-Dec-2017

https://www.eurekalert.org/pub_releases/2017-12/eas-nre120417.php

欧州は気候変動と健康のために食生活を変える必要がある

130 の科学アカデミーによる世界アカデミー間協力の一環として、全欧州の科学者が、食品、栄養、農業及び健康の将来について 2 年間の包括的解析を行った。

欧州アカデミーの科学助言評議会（EASAC）が本日報告書を発表した。全ての国が直面している課題として、あらゆる形の栄養不良（栄養不足から肥満、過体重まで）対策がある。これらの地域的でもあり世界的でもある、分野横断的な相互に関連した問題の解決には研究と革新が中心で、政策は根拠に支えられなければならない。

気候変動はフードシステムに負の影響を与え、干ばつ対応植物の交配などの気候に適応した農業を必要とするだろう。農業同様食生活も持続可能性に寄与する。カロリーや肉の食べ過ぎなどの食生活を変えることは健康と気候の両方に利益があるだろう。家畜部門の温室効果ガス緩和対策が重要問題である。

伝統的動物由来タンパク質源の代用品には海産物、人工肉、昆虫が含まれる。

欧州はゲノム編集、精密農業、大量データの使用、の導入に立ち止まるべきではない。

* 報告書

<https://drive.google.com/file/d/1ZN4iwd-Af3JAGcJ8C2TxAWE-jr1vvQ8a/view>

資料 2：アメリカでの食用昆虫販売のための情報

Aaron T. Dossey 編 *Insects as Sustainable Food Ingredients*、Academic Press 2016

アメリカでは食用昆虫の特別な基準は定められていない、との FDA の見解で、これを根拠に販売されている。販売のためにはヒト用食品として生産されなければならない。従って GMP、HACCP、表示要件に従う必要がある。

個別には担当者と相談することになる。実際に米国で販売している事業者と USDA の関係者らによる書籍から、どのような事項が検討されるのか抜き出したものが以下

前提として GMP、HACCP は標準

従って各種検査については妥当性を確認された検査方法、認証検査機関による（微生物や化学物質など、内容によって認証は異なる）データがある

昆虫について

- 種が同定されている：学名、DNA による同定が一般的
- 遺伝子組換えの場合はその規制に従う
- トレーサビリティが確保されている
- 産地やその環境が確認されている

微生物ハザード

- （ヒトの）食中毒病原体
- 昆虫の病原体

（数が多いので略）

化学的ハザード

- 農薬：野外飼育の場合は直接、飼料由来もある
- 動物用医薬品：昆虫を育てる際に使う抗菌剤など
- PCB などの環境汚染物質：飼料由来
- 飼料の植物などに含まれる毒素
- カビ毒
- 昆虫の作る毒素：色素、体表面分泌物、蟻のギ酸、ハチ毒、ハンミョウの作る水ぶくれを起こす毒など
- 昆虫ステロイド：エクジステロン、トルケステロン（脱皮ホルモン）が筋肉増強目的でサプリメントとして販売されている

- 重金属
- 廃棄物を飼料や飼育に使った場合にはそれに応じた未知物質
- 抗栄養素：サポニン、シュウ酸、タンニン、フィチン、フェノール、ゴシポールのような栄養吸収に影響するもの
- 製造副生成物

物理的ハザード

- 原型の場合窒息：外骨格のテクスチャーは特に子どもと高齢者の物理ハザード
- 粉末：吸収を高める微細化のような加工をした場合ナノテク食品とみなされるかもしれない

屠殺方法

- 麻酔の有無、痛みの評価、人道的取り扱い（アニマルウェルフェア）への配慮（基準はない）

製品の表示

- 栄養成分
- サービングサイズ
- 製造業者

のような一般食品に必須の項目に加えて

- 原材料の学名
- アレルゲン警告：甲殻類と交差反応する可能性がある

が必須

資料3 EFSA のコオロギ評価で検討した情報

Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283

EFSA Journal Volume 19, Issue 8 e06779

<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2903/j.efsa.2021.6779>

より、評価された項目の抜粋

同定・規格

- *Acheta. A. domesticus* の冷凍、乾燥、粉末の3種類
- 成分規格あり

生産プロセス

施設は NVWA により食品製造施設に登録された施設で育てた
独立した3つのプロセスを閉鎖系で行った

- 養殖
 - ・成虫を交配し卵を産ませて卵を分離し幼虫は別に育てる。
 - ・食品容器として認可されているポリプロピレンコンテナを定期的に殺菌し、その中で温度・湿度を一定に保って幼虫を育てる
 - ・幼虫がプラスチック成分を食べないことを確認、殺虫剤や抗菌剤や溶剤は使わない
 - ・飼料は GMP+ で作られた、動物飼料基準に従った植物性のもの
 - ・養殖中の病原体感染の可能性は微生物分析
- 収穫
 - ・4-5 週齢の成虫を基質および糞と分離。死体を取り除く
 - ・24 時間絶食
- 収穫後の加工
 - ・冷凍により殺処分
 - ・粉末を作る場合、水とお湯(> 90°C 10 min 以上)で洗い凍結乾燥後粉砕
 - ・乾燥後の水分 5%未満
 - ・粉末の粒子径 < 1 mm
 - ・密封して室温保存

組成データ

認証された検査機関で、少なくとも5つのバッチについて以下を分析

- 粗タンパク質 (g/100 g of NF)・脂肪 (g/100 g of NF) 易消化性炭水化物 (g/100 g of NF)・食物繊維(g/100 g of NF)・糖類(g/100 g of NF)・灰分 (g/100 g of NF)・水分 (g/100

g of NF)・エネルギー (kJ/100 g)

➤ 汚染物質

重金属

ヒ素 (As)・水銀 (Hg)・鉛 (Pb)・カドミウム (Cd)

カビ毒

アフラトキシン B1・アフラトキシン B2・アフラトキシン G1・アフラトキシン G2・
アフラトキシン (B1, B2, G1, G2 の合計)・オクラトキシン A・ニバレノール・デオキシ
ニバレノール・ゼアラレノン・T-2 と HT-2・フモニシン B1・フモニシン Fumonisin B2

ダイオキシン類

ダイオキシンとダイオキシン様 PCB の合計(UB, WHO-TEQ2005)

➤ 生体アミン (ヒスタミン・スペルミジン・スペルミン)

➤ 微生物

Pseudomonas aeruginosa・総好気性微生物数・*Enterobacteriaceae*・*Escherichia coli*・*Listeria monocytogenes*・*Salmonella spp.*・*Bacillus cereus*・Coagulase positive staphylococci・*Clostridium perfringens*・*Campylobacter spp.*・酵母やカビ

安定性

製造直後と室温 3,6,9,12 ヶ月保存後の微生物プロファイル

12 ヶ月後の水分活性、脂質酸化状態 (過酸化物質価 p-アニシジン、遊離脂肪酸)

使用される食品マトリクス中での安定性

コオロギバーガー、コオロギスナック、ファラフェル (ひよこ豆のコロッケ) プレミックス中での 6 ヶ月保存後の測定結果

物理的ハザード

粉末は低い

ADME

ADME のデータはなし

➤ 栄養 2,240 kJ/100 g

アミノ酸分析

in vitro 消化管モデルでカゼインを比較対照にして消化可能性試験を行った。カゼイン

より消化されにくく、タンパク質としての質は低い

トランス脂肪酸は総脂肪中 0.6%

➤ 抗栄養素

総ポリフェオール (%)・タンニン (%)・シュウ (mg/kg)・フィチン酸(g/kg)・シアン化水素酸(mg/kg)・トリプシンインヒビター (mg/g)

その他

・水やエタノールに溶けないため変異原性試験不可能

・HL60 cells, HeLa cells and Caco-2 cells での細胞毒性試験 250 µg/mL まで

・提案された使用方法による摂取量：最大で成人 368 mg/kg bw per day 幼児 1033 mg/kg bw per day

・交差反応性を含めたアレルギー性に関する研究を薦める

資料4：昆虫ビジネス研究開発プラットフォーム（iBPF）によるコオロギ生産ガイドラインのチェックリスト

（令和4年7月22日 https://www.knsk-osaka.jp/ibpf/guideline/cricket_guideline.html）

4.2 セルフチェックシート

項 目（注意事項）	セルフチェック
1 生産場	
1.1 生産物、生産者及び消費者に健康被害をもたらす可能性のある有害化学物質等（重金属、かび毒、自然毒、殺菌処理で使用、生成する物質等）の発生源から離れているか（推奨）	（はい ・ いいえ）
1.2 景観破壊、生産物の散逸、臭気及び騒音等によって、周辺地域の生活環境の保持に支障を及ぼさない規模であるか、及び、コオロギの生産・管理・収穫を衛生的に実施するための適切な作業スペースが十分に確保されているか	（はい ・ いいえ）
1.3 コオロギの生産・管理・収穫のための作業場所と、生産物等の保管場所、排泄物・残渣等の管理・廃棄場所及び生産者の事務所・休憩所等の領域が、それぞれの目的に応じて適切かつ明確に区分されているか	（はい ・ いいえ）
2 生産施設	
2.1 生産物の散逸対策、有害化学物質等による汚染、病害虫又は病原微生物の発生及び異物の混入への対策並びに臭気対策及び騒音対策等が講じられているか	（はい ・ いいえ）
2.2 耐久性のある部材で構成され、清掃や管理がしやすい構造であり、十分な換気性を備えた施設であるか（推奨）	（はい ・ いいえ）
3 生産設備	
3.1 生産物の散逸対策、有害化学物質等による汚染、病害虫又は病原微生物の発生及び異物の混入への対策並びに転倒や火災等の防止のための対策等が講じられているか	（はい ・ いいえ）
3.2 コオロギの飼育に用いる器物は、耐久性のある素材で構成され、かつ、管理や清掃が容易であるか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4 生産管理	
4.1 生産・管理・収穫方法、衛生管理、安全・労務管理、環境対策および記録・情報管理等、生産管理工程における各種業務に関するマニュアルを作成しているか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4.2 生産するコオロギは、健康かつ入手経路が明瞭である個体群を選択しているか	（はい ・ いいえ）
4.3 コオロギに給餌する飼料の劣化、汚染及び異物混入等に細心の注意を払って管理しているか	（はい ・ いいえ）
4.4 生産場で使用する水源は、有害化学物質等による汚染、病害虫又は病原微生物の発生及び異物の混入がないことを確認しているか	（はい ・ いいえ）
4.5 給餌・給水に使用する器物は、有害化学物質等による汚染、病害虫又は病原微生物の発生及び異物の混入がないことを確認しているか	（はい ・ いいえ）

4.6 給餌・給水に使用する器物は、有害化学物質等による汚染、病虫害又は病原微生物の発生及び異物の混入のおそれが少ない素材で構成されたものであるか、及び、コオロギの齢数や頭数に応じた適切な形態のものであるか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4.7 コオロギを生産・管理・収穫する器物内には、コオロギの脚場となり、かつ共食いを防止するためのシェルターを設置しているか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4.8 シェルターは、有害化学物質等による汚染、病虫害又は病原微生物の発生及び異物の混入がないことを確認しているか	（はい ・ いいえ）
4.9 シェルターは、有害化学物質等による汚染、病虫害又は病原微生物の発生及び異物の混入のおそれが少ない素材で構成されたものであるか、及び、コオロギの齢数や頭数に応じた適切な形態のものであるか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4.10 コオロギを継代飼育する器物内には、コオロギが産卵する場所（「産卵場」）を設けているか	（はい ・ いいえ）
4.11 産卵場は清潔に保たれているか	（はい ・ いいえ）
4.12 産卵場は、有害化学物質等による汚染、病虫害又は病原微生物の発生及び異物の混入がないことを確認しているか	（はい ・ いいえ）
4.13 産卵場は、有害化学物質等による汚染、病虫害又は病原微生物の発生及び異物の混入のおそれが少ない部材から構成されているか、及び、コオロギの頭数に応じた適切な形態のものであるか（推奨）	（はい ・ いいえ）
4.14 コオロギの収穫においては、散逸防止のための対策を講じた上で、コオロギ生体と排泄物との分離、収穫物の洗浄・殺菌処理を徹底しているか	（はい ・ いいえ）
4.15 食品としての安全性を均一して保持するために、死亡虫体や抜け殻等が混入しない収穫技術の向上に努めているか	（はい ・ いいえ）
5 衛生管理	
5.1 生産施設及び生産設備を清潔に保たれ保ち、生産物、生産者及び消費者に健康被害を与えない衛生状態を維持しているか	（はい ・ いいえ）
5.2 病虫害又は病原微生物の発生を未然に防ぐために、生産者や訪問者の入室前の消毒を徹底しているか	（はい ・ いいえ）
5.3 入退室記録を残すことにより、病虫害又は病原微生物の発生時の原因究明に資する体制を整備するとともに、徹底した再発防止を図っているか	（はい ・ いいえ）
5.4 病虫害又は病原微生物や臭気の発生を抑制するため、コオロギの飼育環境はできる限り低湿度を維持しているか（推奨）	（はい ・ いいえ）
5.5 衛生管理のために薬剤を使用する場合は、関連する法令等を遵守し、当該製品を通常使用する上での指示に従っているか	（はい ・ いいえ）
6 安全・労務管理	
6.1 労働基準法をはじめとした各種労働関係法令に従い、適正な労務管理を行っているか	（はい ・ いいえ）

6.2 生産者は、コオロギの適切かつ衛生的な生産・管理・収穫手法を修得するため、基礎的なコオロギの生理・生態に関する知識を身に付け、最新の生産管理に関する情報を生産者間で共有し、これをもって、労働者に適切な指導・教育を行っているか（推奨）	(はい ・ いいえ)
6.3 労働環境の安全対策として、生産施設における生産物等由来の二酸化炭素やアンモニア等、人体に悪影響を及ぼすガス濃度の定期的なモニタリングを実施しているか（推奨）	(はい ・ いいえ)
7 環境対策	
7.1 コオロギの生産・管理・収穫の過程で発生するゴミ類、排泄物・残渣等は、周辺地域の生活環境の保持に支障を及ぼさないよう、適切かつ衛生的な方法で管理・処理しているか	(はい ・ いいえ)
7.2 生産場からの排水は、水質汚濁防止法に基づく排水基準を守って公共用水域へ排出しているか	(はい ・ いいえ)
上記に記載した通り、ガイドライン注意事項を遵守することに相違ありません。	
〇年〇月〇日	左記に記名のこと
会社又は団体名・代表者	(押印不要)

別紙 4

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍 なし

雑誌 なし

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 本間 正充

次の職員の令和5年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 食品の安全確保推進研究事業
2. 研究課題名 「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究
3. 研究者名 (所属部署・職名) 食品部・第三室長
(氏名・フリガナ) 志田 静夏 ・ シダ シズカ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	☐	☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐	☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐	☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称：)	☐	☒	☐		☐

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

- (※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。
- (※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容:)

- (留意事項)
- ・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 本間 正充

次の職員の令和5年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 食品の安全確保推進研究事業
2. 研究課題名 「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究
3. 研究者名 (所属部署・職名) 衛生微生物部・第三室長
(氏名・フリガナ) 渡辺 麻衣子 ・ ワタナベ マイコ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	☐	☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐	☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐	☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称：)	☐	☒	☐		☐

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由：)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関：)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由：)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容：)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 本間 正充

次の職員の令和5年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 食品の安全確保推進研究事業
2. 研究課題名 「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究
3. 研究者名 (所属部署・職名) 生化学部・第三室長
(氏名・フリガナ) 安達 玲子 ・ アダチ レイコ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	☐	☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐	☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐	☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称：)	☐	☒	☐		☐

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。
(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関:)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由:)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容:)

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

厚生労働大臣 殿

機関名 国立医薬品食品衛生研究所

所属研究機関長 職 名 所長

氏 名 本間 正充

次の職員の令和5年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 食品の安全確保推進研究事業
2. 研究課題名 「昆虫食」における大規模生産等産業化に伴う安全性確保のための研究
3. 研究者名 (所属部署・職名) 安全情報部・部長
(氏名・フリガナ) 畝山 智香子 ・ ウネヤマ チカコ

4. 倫理審査の状況

	該当性の有無		左記で該当がある場合のみ記入 (※1)		
	有	無	審査済み	審査した機関	未審査 (※2)
人を対象とする生命科学・医学系研究に関する倫理指針 (※3)	☐	☒	☐		☐
遺伝子治療等臨床研究に関する指針	☐	☒	☐		☐
厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針	☐	☒	☐		☐
その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称：)	☐	☒	☐		☐

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

- (※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。
- (※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

研究倫理教育の受講状況	受講 ☒ 未受講 ☐
-------------	---

6. 利益相反の管理

当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由：)
当研究機関におけるCOI委員会設置の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合は委託先機関：)
当研究に係るCOIについての報告・審査の有無	有 ☒ 無 ☐ (無の場合はその理由：)
当研究に係るCOIについての指導・管理の有無	有 ☐ 無 ☒ (有の場合はその内容：)

- (留意事項)
- ・該当する□にチェックを入れること。

・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。