

タランチュラ飼育における冷凍コオロギ(*Acheta domesticus* および *Gryllus bimaculatus*)の栄養学的妥当性と生化学的変性に関する包括的研究報告書

1. 序論: タランチュラ飼育の変遷と餌資源の課題

オオツチグモ科 (Theraphosidae)、通称タランチュラの飼育下における管理技術は、過去数十年の間にエキゾチックアニマル愛好家のニッチな趣味から、高度な環境制御と栄養管理を要する専門的な分野へと進化を遂げました。この進化の過程で、最も議論的となってきたのが「給餌戦略」です。野生下のタランチュラは、主に待ち伏せ型の捕食者 (ambush predator) として、昆虫類や小型脊椎動物の動きを機械受容器 (感覚毛) で感知し、捕食行動を開始します。そのため、飼育環境下においても生きた昆虫、特にヨーロッパエコオロギ (*Acheta domesticus*) やフタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) を与えることが「ゴールドスタンダード」とされてきました¹。

しかし、生きた昆虫の維持管理には、騒音、悪臭、脱走のリスク、共食いによるロス、そして何より、脱皮中のタランチュラに対して餌昆虫が逆襲し危害を加えるリスクなど、多くの課題が伴います³。これらのロジスティクス上の問題に対処するため、多くの飼育者が「冷凍コオロギ」の利用へと移行しています。冷凍餌は保存が容易であり、寄生虫の感染リスクを低減し、必要な時に必要な量だけを解凍して与えることができるという利便性を提供します³。

本報告書の目的は、利便性の追求がタランチュラの生物学的適応度 (fitness) を損なう可能性がないか、特に「栄養価」と「消化吸收効率」の観点から徹底的に検証することにあります。単に「食べるか食べないか」という行動学的側面にとどまらず、凍結保存プロセスが昆虫の細胞構造、タンパク質の変性、脂質の酸化、ビタミンの安定性、そしてタランチュラ特有の摂食様式である「体外消化 (Extra-Oral Digestion: EOD)」に与える影響を生化学的視点から包括的に分析します。

2. 餌昆虫の栄養学的ベースライン: 種による特性と構成

冷凍による変化を評価するためには、まず「新鮮な状態」でのコオロギが持つ栄養学的ポテンシャルを正確に把握する必要があります。ここでは、主要な2種であるヨーロッパエコオロギ (*Acheta domesticus*) とフタホシコオロギ (*Gryllus bimaculatus*) の栄養構成を比較検討します。

2.1 タンパク質含有量とアミノ酸プロファイル

昆虫は一般的に高タンパク源として認識されていますが、その測定方法には注意が必要です。従来の食品分析では、ケルダール法を用いて総窒素量を測定し、それに換算係数 ($K_p = 6.25$) を乗じて粗タンパク質を算出していました。しかし、昆虫の外骨格を構成するキチン (chitin) は窒素を含む多糖類であり、これがタンパク質量の過大評価につながることで指摘されています⁶。

- ヨーロッパイエコオロギ (*A. domesticus*):
乾燥重量ベースでの粗タンパク質含有量は通常 60%~70% と報告されています 6。しかし、キチン由来の非タンパク態窒素を考慮した修正換算係数 ($K_p \approx 5.09$) を用いた場合、真のタンパク質量はやや低くなりますが、それでも家禽類や牛肉に匹敵、あるいは凌駕する数値を維持しています 7。アミノ酸スコアに関しては、必須アミノ酸 (EAA) をバランスよく含んでおり、特にリジン、ロイシン、バリンが豊富です 9。
- フタホシコオロギ (*G. bimaculatus*):
一般的に *A. domesticus* よりも体サイズが大きく、タンパク質含有量も 58%~70% (乾燥重量) と高い数値を誇ります 10。特筆すべきは、特定のアミノ酸プロファイルにおいて *A. domesticus* を上回る点です。例えば、アルギニン、バリン、フェニルアラニンなどの必須アミノ酸濃度が有意に高いことが示されており、タランチュラの成長期における組織形成において有利に働く可能性があります 8。

2.2 脂質と脂肪酸組成

脂質はタランチュラにとって、脱皮のエネルギー源やホルモン合成の前駆体として極めて重要です。

- 脂質含有量:
A. domesticus の脂質含有量は乾燥重量の 13%~33% の範囲で変動します 13。一方、*G. bimaculatus* も 10%~23% 程度の脂質を含みます 8。この変動幅は、収穫時の発育段階や、給餌された餌 (ガットローディング) の内容に大きく依存します。
- 脂肪酸プロファイル:
両種ともに不飽和脂肪酸 (UFA) が豊富です。特に多価不飽和脂肪酸 (PUFA) であるリノール酸 (オメガ6) や α -リノレン酸 (オメガ3)、および一価不飽和脂肪酸 (MUFA) であるオレイン酸が多く含まれています 8。これは栄養学的に優れている反面、化学的に不安定であり、酸化 (酸敗) しやすいという「諸刃の剣」の特性を持ちます。この点は、冷凍保存時の品質劣化を考える上で極めて重要なファクターとなります 15。

2.3 微量栄養素 (ミネラル・ビタミン)

無脊椎動物の生理機能維持には、ミネラルバランスが欠かせません。

- ミネラル:
G. bimaculatus は *A. domesticus* と比較して、亜鉛 (Zn) や鉄 (Fe) の含有量が有意に高いことが報告されています 12。また、両種ともにリン (P) の含有量が高く、カルシウム (Ca) が相対的に低いいため、カルシウム:リン比 (Ca:P比) は約 0.14:1~0.2:1 と著しく不均衡です 1。これは、冷凍・生体を問わず、タランチュラへの給餌においてカルシウム添加 (ダスティング) が不可欠である理由の科学的根拠となります。
- ビタミン:
ビタミンB群 (特にリボフラビン、ナイアシン、B12) やビタミンA、C、Eを含有しています 18。特にチアミン (ビタミンB1) は、*A. domesticus* において乾燥重量あたり約 0.4 mg/100g 程度含まれており、糖質代謝や神経機能の維持に必須の栄養素です 18。

2.4 血リンパ (Hemolymph) の重要性

昆虫は脊椎動物のような閉鎖血管系ではなく、開放血管系を持ち、体内は「血リンパ」で満たされています。この血リンパには、遊離アミノ酸、トレハロース(血糖)、ヘキサメリン(貯蔵タンパク質)、抗菌ペプチド、免疫細胞(血球)などが高濃度で溶け込んでいます²⁰。

タランチュラは固形物を咀嚼して飲み込むのではなく、消化液で溶かして液体として摂取する生物です。したがって、この血リンパこそが、最も消化吸収が容易で即効性のある栄養プールであり、その保持こそが栄養価の鍵を握っています。

3. 凍結保存の生物物理学:細胞レベルでの損傷メカニズム

「冷凍したコオロギは生のコオロギと同じか？」という問いに対する答えは、低温生物学(Cryobiology)の観点からは「否」です。凍結プロセスは、細胞に対して物理的かつ化学的なストレスを与える劇的なイベントです。

3.1 氷晶形成と細胞膜の物理的破壊

市販されている餌用コオロギ(*A. domesticus*, *G. bimaculatus*)の多くは、本来熱帯・亜熱帯起源であり、生理的に「凍結感受性(Freeze-intolerant / Chill-susceptible)」の生物です。これらは、体液が凍結することに耐えうる生理的メカニズム(不凍タンパク質の産生やグリセロール等の凍結防止剤の蓄積)を持っていません²²。

1. 細胞外凍結:

コオロギを冷凍庫(通常 -18°C ~ -20°C)に入れると、まず細胞外の水分(血リンパ)から氷の結晶核が形成されます。

2. 浸透圧ショックと脱水:

細胞外の水が氷に変わることによって、残った液体の溶質濃度が上昇し、浸透圧が高まります。これにより、細胞内から細胞外へと水分が引き抜かれ、細胞は脱水・収縮します²⁴。

3. 細胞内凍結と膜損傷:

急速冷凍(フラッシュフリーズ)ではなく、家庭用冷凍庫のような緩慢凍結(Slow freezing)の場合、大きく成長した鋭利な氷の結晶(Ice crystals)が形成されます。これらの結晶は、物理的な「槍」のように作用し、細胞膜(リン脂質二重層)や細胞内小器官(ミトコンドリア、リソソーム)を刺し貫き、不可逆的な損傷を与えます⁵。

4. 細胞骨格の崩壊:

コオロギの細胞形態を維持しているアクチンフィラメントや微小管といった細胞骨格は、凍結ストレスによって脱重合し、崩壊します。耐凍性を持つ昆虫(例: *Gryllus veletis* の越冬個体)であれば、これを修復・防御する機構を持っていますが、餌用として流通しているコオロギにはその能力がありません²²。

3.2 解凍時のドリップロス(Drip Loss)

凍結によって破壊された細胞構造の影響は、解凍時に「ドリップ(解凍液)」として顕在化します。

● メカニズム:

細胞膜が破れているため、本来細胞内に保持されていた細胞質基質が、解凍とともに細胞外へ流出します。これが血リンパと混ざり合い、外骨格の隙間や関節部、あるいは物理的な破損部位から体外へと漏れ出します²⁶。

● 栄養学的損失:

このドリップには、単なる水だけでなく、水溶性の重要栄養素が含まれています。

- 遊離アミノ酸: タンパク質合成の材料となるアミノ酸プール²⁸。
- 水溶性ビタミン: 特にビタミンB群(チアミン等)は水に溶けやすいため、ドリップとともに失われやすい²⁹。
- ミネラル: カリウムやナトリウムなどの電解質³⁰。

食肉(鶏肉や牛肉)の研究では、解凍によるドリップロス(重量の2%~5%以上に達することが報告されています)³¹、外骨格を持つ昆虫の場合、見た目には液体が内部に留まっているように見えても、組織レベルでは「水浸しのスポンジ」状態になっており、タランチュラが牙を突き立てた瞬間に栄養豊富な液体が外部へ流失してしまうリスクが高まります。

4. 保存中の生化学的変性: 脂質酸化と酵素活性

冷凍庫の中であっても、化学反応は完全に停止するわけではありません。時間の経過とともに、コオロギの栄養価は徐々に、しかし確実に低下します。

4.1 脂質の酸化(酸敗)

前述の通り、コオロギは不飽和脂肪酸(PUFA)を多く含みます。これは栄養価が高い反面、酸化に対して非常に脆弱であることを意味します。

- 酸化プロセス:
保存中に脂肪酸が微量の酸素と反応し、ヒドロペルオキシド(一次酸化生成物)を形成します。これらはさらに分解され、アルデヒドやケトン(二次酸化生成物)となり、特有の不快感(ランシッド臭)を発生させます¹⁴。
- 温度の影響:
研究データによると、コオロギ粉末の過氧化物価(PV)は、冷蔵・冷凍保存であっても時間の経過とともに上昇することが示されています。特に -18°C よりも高い温度や、温度変動がある環境では酸化が加速します¹⁴。
- タランチュラへの影響:
酸化した脂質は過酸化ラジカルを含んでおり、これを摂取したタランチュラは、体内の抗酸化物質(ビタミンEなど)を消費して中和しなければなりません。長期間、酸化した餌を与え続けることは、タランチュラに対して酸化ストレスを与え、寿命や健康状態に悪影響を及ぼす可能性があります³²。また、変敗した脂質の臭いは、鋭敏な化学受容器を持つタランチュラの拒食を引き起こす要因となります。

4.2 酵素による自己消化と黒変

昆虫の体内には、消化酵素や免疫関連酵素が豊富に含まれています。

- フェノールオキシダーゼ(PO):
昆虫の体液に含まれるPOは、メラニン形成に関与する酵素です。死後、また解凍時にはこの制御が外れ、酸素と触れることで急激に活性化し、体が黒く変色(黒変/メラニゼーション)します²¹。これは見た目の問題だけでなく、タンパク質の利用可能性(バイオアベイラビリティ)を低下させる可能性があります。

- 消化酵素の漏出:
凍結により消化管(中腸)の壁が破壊されると、強力なプロテアーゼ(タンパク質分解酵素)やリパーゼ(脂質分解酵素)が腹腔内に漏れ出します³³。解凍中、これらの酵素はコオロギ自身の組織を内側から「消化」し始めます。これにより組織が軟化しすぎると、タランチュラが摂食する際に内容物が崩壊しやすくなり、給餌効率が低下します。

5. タランチュラの消化生理学: 体外消化(EOD)との相互作用

冷凍餌の適性を判断する上で最も重要なのが、タランチュラ特有の摂食メカニズムである「体外消化(Extra-Oral Digestion: EOD)」との適合性です。

5.1 EODのメカニズム

タランチュラは獲物を捕らえると、鋏角(牙)から毒を注入して無力化した後、中腸から逆流させた消化液を獲物の体内に注入(あるいは獲物の表面に吐出)します。この消化液には、アスタシン様メタロプロテアーゼ、コラゲナーゼ、キチナーゼ、リパーゼなどの強力な加水分解酵素が含まれています³⁴。これらの酵素によって獲物の組織はドロドロのスープ状(chyme)に液化され、タランチュラはそれを「吸胃(sucking stomach)」のポンプ作用で吸引します³⁷。

5.2 冷凍餌と酵素反応の効率

- メリット:
冷凍によってコオロギの細胞膜や組織が物理的に破壊されていることは、タランチュラの消化液が組織の深部まで浸透しやすいことを意味します。理論上、生きた獲物よりも「前処理」が済んでいる状態であり、液化のプロセスが早まる可能性があります。
- デメリット(構造的破綻):
しかし、EODを効率的に行うためには、獲物の外骨格がある程度の「容器」としての役割を果たす必要があります。消化液を注入し、内部で溶かし、それを吸い戻すというサイクルにおいて、解凍されたコオロギがグズグズに崩れていたり、外骨格に亀裂が入っていたりすると、貴重な消化液が外部へ漏れ出してしまいます。これはタランチュラにとって代謝コストのロス(消化酵素の浪費)となり、摂取できる栄養総量の減少につながります。

5.3 嗜好性と行動トリガー

タランチュラの捕食行動は、主に視覚よりも振動(機械的刺激)によって引き起こされます。冷凍コオロギは当然ながら動きません。

- ピンセット給餌: 多くの個体はピンセットで目の前で動かすことで「生きている」と誤認し、食いつきます³⁸。
- 置き餌(Scavenging): タランチュラ、特に幼体(sling)は死肉食(スカベンジング)を行うことが知られていますが、成体になると動かない餌への反応が鈍る個体もいます³⁸。
- 拒食のリスク: 長期間冷凍保存され、脂質酸化臭がするコオロギや、解凍に失敗してドリップが出ているコオロギは、タランチュラの触肢による化学的テイスティングで拒絶される可能性があります。

6. チアミン(ビタミンB1)欠乏症のリスクと真実

爬虫類や魚食性動物の飼育において、冷凍餌(特に魚類)の単用が「チアミン欠乏症(脚気様症状)」を引き起こすことは獣医学的に周知の事実です³⁹。このリスクがタランチュラとコオロギの関係にも適用されるのか、詳細に検討します。

6.1 チアミン損失の2つの経路

1. チアミナーゼ(Thiaminase)による分解:

特定の魚類(金魚、コイ科)や植物(ワラビ)、一部の昆虫(アフリカの *Anaphe* 属の蛾の幼虫など)には、チアミンを分解する酵素「チアミナーゼ」が含まれています³⁹。この酵素は冷凍しても失活せず、解凍中や消化管内でビタミンB1を破壊し続けます。

- コオロギの場合: 現時点での研究において、*A. domesticus* や *G. bimaculatus* が強力なチアミナーゼ活性を持つという報告はありません。逆に、これらのコオロギはチアミンの供給源(0.4 mg/kg程度)としてリストアップされています¹⁸。したがって、酵素による能動的な破壊リスクは低いと考えられます。

2. 物理的・化学的損失:

チアミナーゼがなくとも、チアミンは非常に不安定なビタミンです。

- 水溶性流出: 解凍時のドリップとともに容易に流出します⁴⁴。
- 経時劣化: 中性～アルカリ性の環境や、温度変化、酸化ストレスによって自然分解します。ペットフードの研究では、冷凍保存中であってもチアミン濃度は時間とともに有意に低下することが示されています⁴⁵。

6.2 タランチュラにおける神経症状

タランチュラに見られる「ジスキネジア症候群(Dyskinetic Syndrome: DKS)」は、脚の協調運動障害、震え、痙攣などを特徴とします。原因は化学物質(農薬等)への暴露や感染症など多岐にわたりますが、栄養性、特にビタミンB群の欠乏も潜在的な要因として否定できません。

冷凍コオロギ自体がチアミン破壊酵素を持っているわけではありませんが、**「長期保存による自然分解」+「解凍時のドリップによる流出」**のコンボにより、実質的なチアミン摂取量が不足するリスクは理論的に存在します。特に、何ヶ月も冷凍庫に入れたままのコオロギのみを与え続けることは推奨されません。

7. ガットローディング(Gut Loading)の有効性と限界

「ガットローディング(Gut Loading)」とは、捕食者に与える直前の昆虫に高栄養な餌(カルシウム、ビタミン、野菜など)を食べさせ、昆虫の消化管内にその栄養素を保持させた状態で捕食させるテクニックです⁴⁶。

7.1 冷凍餌における保持能力

● 理論上の利点:

生きたコオロギの場合、ガットロードの効果は一過性であり、数時間～24時間で排泄されてしまいます。しかし、十分にガットロードした直後に「急速冷凍」されたコオロギであれば、その消化

管内の栄養素は物理的に「固定」されます。購入後、餌を与えずに管理された生体コオロギよりも、栄養豊富な状態で時間が止まった冷凍コオロギの方が、消化管内容物の栄養価が高い可能性があります 48。

7.2 解凍時の漏出リスク

しかし、ここでも「凍結による細胞破壊」が問題となります。

凍結によってコオロギの消化管(中腸上皮)が破裂している場合、解凍とともに消化管内の未消化物(ガットロード内容物)が体腔内に漏れ出します 30。

- 水分の多いガットロード(野菜・果物): 解凍時に水分過多となり、ドリップ量が増大し、腐敗(細菌増殖)の温床となります。
- 乾燥ガットロード(カルシウムパウダー等): 比較 残存しやすいですが、水溶性ビタミンなどはドリップと共に失われる可能性があります。

結論: 冷凍コオロギにおいてもガットローディングの効果は期待できますが、解凍プロセスでの損失を考慮し、外部からの添加(ダスティング)で補うのが最も確実です。

8. 総合比較分析: 生餌 vs 冷凍餌

以上の知見をまとめ、タランチュラ飼育における両者の特性を比較します(下表参照)。

比較項目	生き餌 (A. domesticus / G. bimaculatus)	冷凍解凍餌	タランチュラへの影響・含意
タンパク質	天然構造を維持。消化酵素との親和性が高い。	変性・凝集の可能性あるが総量は不変 ⁶ 。	影響小。タランチュラの強力なプロテアーゼは変性タンパクも分解可能。
脂質・脂肪酸	安定。脂肪体細胞内に保護されている。	酸化リスク大。過酸化物価の上昇 ¹⁴ 。	酸化脂質によるストレス、嗜好性の低下、ビタミンEの消費。
ビタミン類	新鮮。チアミン等は生理的濃度を維持。	減少。ドリップによる流出と経時分解 ⁴⁵ 。	長期の単食は微量栄養素不足のリスクあり。
水分・水和	細胞内に保持(~70%)。理想的な水	分離・流出(ドリップ)	水分摂取効率が低下。脱水気味の個体

	分補給源。	ロス)。	には不向き。
細胞構造	無傷。EODの「容器」 として機能する。	崩壊 ²² 。	消化液が漏れやす く、摂食効率が下 がる可能性。腐敗が早 い。
嗜好性	動きによる刺激で捕 食本能を誘発。	動かない。匂いの変 化(酸化臭)。	個体によっては認識 しない、または拒食 する。
安全性	寄生虫(ダニ、線虫) のリスクあり。攻撃 の危険性。	寄生虫は死滅 ³ 。攻 撃されない。	安全性は高いが、解 凍後の細菌増殖ス ピードは速い ³³ 。

9. 結論と提言

文献ベースの証拠に基づくと、**「冷凍コオロギはタランチュラの餌として栄養学的に利用可能であるが、生餌と完全に等価ではない(劣る点がある)」**というのが科学的な結論です。

主要栄養素(タンパク質・カロリー)の観点からは、冷凍コオロギはタランチュラを維持・成長させるのに十分な栄養価を持っています⁶。しかし、微量栄養素(ビタミンB群、ミネラル)の安定性と、水分保持能力(ドリップロス)の点において、生餌に劣ることは否めません。特に、不飽和脂肪酸の酸化による品質劣化と、解凍時のドリップによる水溶性成分の損失は、長期飼育における潜在的なリスクファクターとなり得ます。

したがって、冷凍コオロギを主食として用いる場合、以下の補償的アプローチを強く推奨します。

9.1 推奨される運用プロトコル

1. 必須のサプリメント添加(ダスティング):

解凍時に失われた栄養素を補うため、給餌の都度、必ず爬虫類・両生類用のマルチビタミン・ミネラルパウダー(カルシウム+ビタミンD3+ビタミンB群含有)をまぶしてください⁴⁹。解凍されたコオロギの表面は湿っているため、パウダーの付着性が良く、これは冷凍給餌の隠れたメリットでもあります。

2. 適切な解凍方法:

- **NG:** 水に直接漬けて解凍する(浸透圧で栄養がさらに流出します)。常温で長時間放置する(酵素による自己消化と腐敗が進みます)。
- **OK:** 密封袋に入れ、ぬるま湯で短時間で解凍する。あるいは給餌直前に空気に触れさせず解凍する。ドリップが出た場合は、キッチンペーパーで拭き取るのではなく、可能であればそのドリップごと摂取させる工夫が必要ですが、現実的にはダスティングで補う方が確実です²⁶。

3. 保存期間の管理:
家庭用冷凍庫では、脂質の酸化を防ぎきれません。購入または冷凍してから3ヶ月以内に使い切ることを目安とし、古くなったもの(特に冷凍焼けしたものや変な臭いがするもの)は廃棄してください 5。
4. 種とサイズの選択:
可能であれば、外骨格が厚く体が大きい**フタホシコオロギ(*G. bimaculatus*)**を選択することで、解凍時の組織崩壊やドリップロスに対する物理的な耐性が、柔らかいヨーロッパイエコオロギよりも若干高い可能性があります。
5. ローテーション:
冷凍コオロギのみに依存せず、たまにデュビア(*Blaptica dubia*)やレッドローチ、ミルワームなどを併用することで、栄養の偏り(特に脂肪酸バランスや特定ビタミンの不足)を防ぐことができます 17。

以上の科学的根拠に基づき、適切な管理とサプリメントの使用を前提とすれば、冷凍コオロギはタランチュラの健全な育成において、利便性と栄養価のバランスが取れた有力な選択肢となり得ます。

引用文献

1. The Nutritional Value of Common Live & Frozen Reptile Foods -, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://petfoodpassion.co.uk/2025/02/11/the-nutritional-value-of-common-live-frozen-reptile-foods/>
2. Live Food Care: STOP Wasting Money on Dead Feeders - Northampton Reptile Centre, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.reptilecentre.com/pages/info-live-food-care-sheet>
3. Feeding Frozen/Thawed Food vs. Live Prey to Captive Reptiles - Rodent Pro, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://rodentpro.com/informationcenter/resources/feeding-frozen-vs-live-reptiles>
4. Taking care of your reptile livefood - Help Guides, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.reptiles.swelluk.com/help-guides/taking-care-of-your-reptile-livefood/>
5. Preserving color, nutrients and flavor when freezing produce | UMN Extension, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://extension.umn.edu/preserving-and-preparing/freezing-produce>
6. Safety of frozen, dried and powder forms of house crickets (*Acheta* ..., 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11647177/>
7. View of The nitrogen-to-protein conversion factor of two cricket species - *Acheta domesticus* and *Gryllus bimaculatus* - Journal.fi, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://journal.fi/afs/article/view/89101/50058?acceptCookies=1>
8. The House Cricket (*Acheta domesticus* Linnaeus) in Food Industry: Farming, Technological Challenges, and Sustainability Considerations - MDPI, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/17/9494>
9. Fermentation of House Crickets (*Acheta domesticus*): Boosting Quality and Functionality in Cricket-Based Food Ingredients - PMC - NIH, 1月 3, 2026にアクセス

- ス、 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12691979/>
10. Nutritional values and functional properties of house cricket (*Acheta domesticus*) and field cricket (*Gryllus bimaculatus*). - CABI Digital Library, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20193468679>
 11. Cricket (*Gryllus bimaculatus*) meal pellets as a protein supplement to improve feed efficiency, ruminal fermentation and microbial protein synthesis in Thai native beef cattle - Animal Bioscience, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://www.animbiosci.org/m/journal/view.php?number=25074>
 12. Nutritional Composition of House Cricket (*Acheta domesticus*) and Dung Beetle Larva (*Oryctes boas*) in Osun State: Implication to - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、 https://www.researchgate.net/profile/Oluwaseun-Adesoye/publication/374344511_Nutritional_Composition_of_House_Cricket_Acheta_domesticus_and_Dung_Beetle_Larva_Oryctes_boas_in_Osun_State_Implication_to_Dietary_Improvement_in_Nigeria/links/65a27694af617b0d8741b551/Nutritional-Composition-of-House-Cricket-Acheta-domesticus-and-Dung-Beetle-Larva-Oryctes-boas-in-Osun-State-Implication-to-Dietary-Improvement-in-Nigeria.pdf
 13. How Does Locally Produced Feed Affect the Chemical Composition of Reared House Crickets (*Acheta domesticus*)? | Request PDF - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、 https://www.researchgate.net/publication/350900284_How_Does_Locally_Produced_Feed_Affect_the_Chemical_Composition_of_Reared_House_Crickets_Acheta_domesticus
 14. Assessment of Changes in the Fat Profile of House Cricket Flour during 12 Months of Storage in Various Conditions - MDPI, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/16/2566>
 15. Quality changes and FTIR characteristics of the house cricket ..., 1月 3, 2026にアクセス、 <https://so01.tci-thaijo.org/index.php/APST/article/view/272869>
 16. From Farm to Fork: Crickets as Alternative Source of Protein, Minerals, and Vitamins - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8382788/>
 17. Gut Loading – What and How - Bay Area Bird & Exotics Hospital, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://www.birdandexoticvet.com/gut-loading-what-and-how/>
 18. Vitamin composition of different species of edible crickets. - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、 https://www.researchgate.net/figure/Vitamin-composition-of-different-species-of-edible-crickets_tbl1_347522792
 19. Edible Crickets (Orthoptera) Around the World: Distribution, Nutritional Value, and Other Benefits—A Review - Frontiers, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2020.537915/full>
 20. Comparative Amino Acid Profiling of Arthropod Haemolymph in Zaria, Nigeria - FNAS Journals, 1月 3, 2026にアクセス、 <https://fnasjournals.com/index.php/FNAS-JACSR/article/view/656/566>
 21. Effect of fasting and two different photoperiods on immune parameters in adult

- male and female house crickets (*Acheta domesticus*) - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11874521/>
22. Freeze-tolerant crickets fortify their actin cytoskeleton in fat body tissue | bioRxiv, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.11.22.624896v1.full-text>
 23. Evidence for non-colligative function of small cryoprotectants in a freeze-tolerant insect - Royal Society Publishing, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://royalsocietypublishing.org/rspb/article-pdf/doi/10.1098/rspb.2019.0050/866956/rspb.2019.0050.pdf>
 24. Stabilization of insect cell membranes and soluble enzymes by accumulated cryoprotectants during freezing stress | PNAS, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2211744119>
 25. Cryoprotectant Accumulation and Insect Cold Tolerance: Mechanisms, Adaptations, and Evolutionary Perspectives - Preprints.org, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.preprints.org/manuscript/202503.1037/v1>
 26. (PDF) Effect of conventional and emerging thawing technologies on drip loss, microstructure and post-thaw quality of frozen fruits and vegetables: A review - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/395234539_Effect_of_conventional_and_emerging_thawing_technologies_on_drip_loss_microstructure_and_post-thaw_quality_of_frozen_fruits_and_vegetables_A_review
 27. Average percentage thaw loss for all the freezing treatments (\pm SE)... - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、
https://www.researchgate.net/figure/Average-percentage-thaw-loss-for-all-the-freezing-treatments-SE-calculated-for-the_tbl1_346758551
 28. Effect of freezing and drying processes on the molecular traits of edible yellow mealworm, 1月 3, 2026にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/325575290_Effect_of_freezing_and_drying_processes_on_the_molecular_traits_of_edible_yellow_mealworm
 29. Effect of freeze-thaw cycles on the nutritional quality of some selected Nigerian soups - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4779483/>
 30. Reestablishment of ion homeostasis during chill-coma recovery in the cricket *Gryllus pennsylvanicus* | PNAS, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1212788109>
 31. Comparison of Thawing Treatments on Quality, Microbiota, and Organoleptic Characteristics of Chicken Meat Fillets - PMC - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10373201/>
 32. The Effects of Antioxidants and Packaging Methods on Inhibiting Lipid Oxidation in Deep Fried Crickets (*Gryllus bimaculatus*) during Storage - PMC - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8833970/>
 33. How To Freeze Crickets | The Future Of Edible Insects, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://thefutureofedibleinsects.com/2014/05/01/how-to-freeze-crickets/>
 34. Digestive enzymes and sphingomyelinase D in spiders without venom (*Uloboridae*) - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、

- <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9932164/>
35. Before the first bite - Revista Fapesp, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://revistapesquisa.fapesp.br/en/before-the-first-bite/>
 36. Characterisation of protein families in spider digestive fluids and their role in extra-oral digestion - PMC - NIH, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5553785/>
 37. What Does a Tarantula Eat Daily? - ThoughtCo, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.thoughtco.com/what-do-tarantulas-eat-1968548>
 38. How to Feed a Tarantula: 12 Steps (with Pictures) - wikiHow, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.wikihow.com/Feed-a-Tarantula>
 39. Causes of thiamine deficiency - Cornell University, 1月 3, 2026にアクセス、
http://thiamine.dnr.cornell.edu/Thiamine_causes.html
 40. Thiamine (Vitamin B1) Deficiency in Garter Snakes | The Exotic Pet Vet Blog, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://exoticpetvetblog.wordpress.com/2015/02/17/thiamine-vitamin-b1-deficiency-in-garter-snakes/>
 41. Thiamin Is Decomposed Due to Anophe spp. Entomophagy in Seasonal Ataxia Patients in Nigeria - ResearchGate, 1月 3, 2026にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/12491306_Thiamin_Is_Decomposed_Due_to_Anophe_spp_Entomophagy_in_Seasonal_Ataxia_Patients_in_Nigeria
 42. Thiaminase - Wikipedia, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://en.wikipedia.org/wiki/Thiaminase>
 43. Nutritional Value of Commercially Raised Insects - Gecko Time, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://geckotime.com/nutritional-value-of-commercially-raised-insects/>
 44. Feeder Insects Nutritional Guide for Your Pet Reptile! - Specialty ..., 1月 3, 2026にアクセス、
https://specialtyserpents.com/index_htm_files/FeederInsectsGuide.pdf
 45. In extruded feline diets, thiamine degraded at a similar rate when stored at -20°C, compared to room temperature - PubMed Central, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7953928/>
 46. How to Gut-Load Insects for Pet Reptiles | Blog - Long Island Bird & Exotics Veterinary Clinic, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://www.birdexoticsvet.com/post/gutloading-insects-for-reptiles>
 47. The Benefits of Gut-Loading Insects - Fluker's Cricket Farm, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://flukerfarms.com/reptile-u/blog/the-benefits-of-gutloading-insects-/>
 48. AN OVERVIEW OF THE DEVELOPMENT AND EVALUATION OF A GUT- LOADING DIET FOR FEEDER CRICKETS FORMULATED TO PROVIDE A BALANCED NUTRIE - TITAG, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://titag.org/wp-content/uploads/2015attardcrickets.pdf>
 49. How to Dust Feeder Insects - BuyFeederCrickets.com, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://buyfeedercrickets.com/blogs/crickets/how-to-dust-feeder-insects>
 50. Feeder Insect Nutrition Facts for Reptile Keepers - ReptiFiles, 1月 3, 2026にアクセス、
<https://reptifiles.com/feeder-insect-nutrition-facts-chart/>