

地域資源を利用したアメリカミズアブの飼育方法の確立

長岡技術科学大学大学院 ○ 藤本 巧輝 長岡技術科学大学大学院 正会員 渡利 高大
長岡工業高等専門学校 正会員 村上 祐貴 長岡技術科学大学大学院 正会員 山口 隆司

1. 背景および目的

現在世界の人口は約 78 億 7500 万人と推定されており¹⁾、国連によれば 2030 年には 85 億人、2050 年までに 100 億人を突破すると見込まれている。このような急激な人口増加に伴い、食糧需要に対して食糧生産が追いつかなくなることで食糧不足が発生し、2019 年時点では世界全体で約 6 億 9000 万人²⁾が食糧飢餓に陥っていると推定されている。また食糧不足の中でも特にタンパク質の不足が懸念されている。タンパク質は主に豚、牛、鶏に代表される肉類、魚類、大豆に代表される穀物、乳製品から摂取が可能である。その中でも年間 2.6 億 t の需要がある肉類（牛肉 6100 万 t、豚肉 1.1 億 t、鶏肉 9300 万 t）だが³⁾、家畜を育てる為には大量の穀物が必要であり、肉 1 kg を生産する為に穀物（とうもろこし）は牛肉で 11 kg、豚肉で 6 kg、鶏肉で 4 kg が必要である⁴⁾。食糧不足が懸念される一方、世界全体で食品廃棄量は高止まりしており、現在の食品廃棄物量は年間 13 億 t と推定されている⁵⁾。食品廃棄に伴った問題は世界中に存在し、日本も例外ではない。日本の食品廃棄物量は年間 1756 万 t と推定されており、その内の 81%が食品製造業由来である⁶⁾。持続型社会を構築する上で食糧不足と食品廃棄の 2 つの相対する課題の解決が必要である。

近年、食品廃棄物処理において昆虫による処理が検討されており、なかでも *Hermetia illucens*（アメリカミズアブ、Black soldier fly、以下 BSF）を使用した堆肥化処理法に注目が集まっている。BSF はハエ目ミズアブ科の昆虫である。原産は北米、中米であるが、現在は日本を含んだ世界全体に分布しており、人間の生活圏では主にコンポストや屋外のトイレなどで確認できる。BSF の幼虫は食品廃棄物を摂食することで成長し、食品廃棄物は BSF による摂食と排泄を繰り返すことで堆肥化する⁷⁾。また BSF の幼虫はタンパク質と脂質を多く体内に溜め込む為、食品

廃棄物からタンパク質を回収することが可能である。その為、成長した BSF 幼虫は家畜や魚類への飼料として使用が検討されている。これらの利点より BSF を用いた食品廃棄物処理法が検討されている。世界中で BSF を含めた食品廃棄物の昆虫処理法が研究されているが、実用されている例はまだ少ない。本研究では BSF による処理の対象として、新潟県長岡地域で排出される酒粕、オカラ、米糠に着目した。酒粕に代表される食品産業由来の副産物は人間が食糧として活用できるのにも関わらず、全量が商品化されるケースは稀であり、そのほとんどが廃棄処理又は家畜飼料として利用されている。家畜飼料とする場合は、処理費・加工費を生産者が負担する必要がある、特に小規模な生産者ではその負担が大きい。

本研究では地域資源を利用した BSF の飼育方法の確立を目的とし、新潟県長岡地域の代表的な食品産業の副産物である酒粕、オカラ、米糠を BSF 幼虫にそれぞれ与え、BSF 幼虫の成長特性を調査した。

2. 実験方法

2.1. 実験準備

2.1.1. 副産物の乾物率測定

実験において含水率を各副産物で合わせる必要がある為、各副産物の乾物率を測定した。実験で使用した各副産物は地域の食料品店で購入したもので調味料の添加や加工がされていないものを使用した。購入した各副産物は、形質の変化や水分の増減、腐食が実験結果に影響することが考えられる為、実験で使用する前は冷蔵庫に保管し、実験で使用してから再度使用するまではフリーザーバックに入れて保存した。また酒粕に関しては開封時からアルコールの揮発が考えられる為、再度酒粕を使用する場合は、同商品を新たに開封して使用した。副産物の乾燥重量は湿潤状態の副産物を蒸発皿に添加し、乾燥前と乾燥後の重量から計算を行った。最初にナンバリン

グされた蒸発皿 9 個の重量を計測した。次に蒸発皿に試料として酒粕, オカラ, 米糠をそれぞれ 3 つずつ 10 g 程度添加し, 蒸発皿と試料の合計重量を計測した。蒸発皿と試料を恒温乾燥機で 48 h, 105°C で乾燥した。乾燥終了後, 蒸発皿と試料の合計重量を計測し, 蒸発皿の重量, 添加した試料量から乾物率を以下の式より計算した。各副産物の平均乾物率は酒粕が 40.3%, オカラが 22.3%, 米糠が 92.0% であった。

$$\text{乾物率 (\%)} = \frac{\text{乾燥後試料と蒸発皿 (g)} - \text{蒸発皿 (g)}}{\text{乾燥前試料と蒸発皿 (g)} - \text{蒸発皿 (g)}} \times 100$$

2.1.2. BSF 受精卵の入手及び前飼育

本実験で使用した BSF 受精卵は長岡工業高等専門学校に設置した BSF 成虫飼育用インキュベーターから採取した。採取した受精卵は長岡工業高等専門学校内にある BSF 飼育実験施設内に運び, 受精卵は孵化と前飼育を行う為に飼育器に移した。

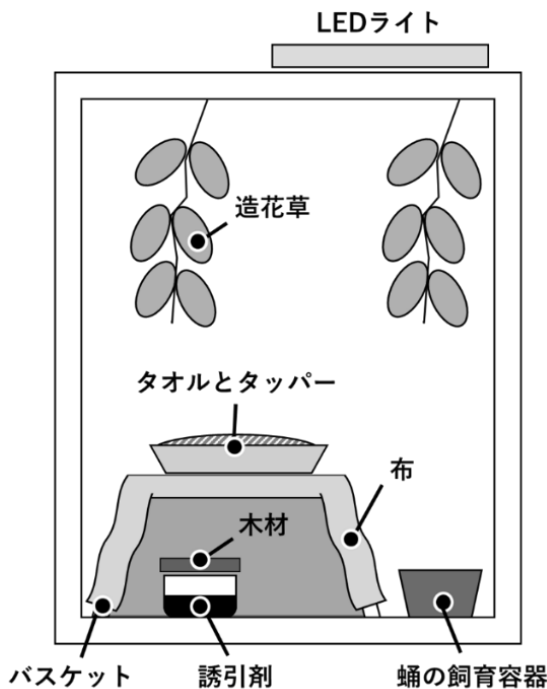


図 1. インキュベーターの概略図

図 2 に使用した飼育器の概略図を示す。飼育器にはプラスチック製の保存容器 (Ziploc, 80 mm × 80 mm × 53 mm) を使用した。飼育器の蓋には酸素不足にならない様に直径 10 mm の穴を二つ開け, 幼虫の脱走対策としてグラスファイバーネット (メッシュ

サイズ: 18/16) を飼育器と蓋の間に挟んだ。飼育器には餌として米糠を 30 g, 水を 70 g 添加し, その上にココナッツピートを 5 mm 程度の層になるように添加し, 再度霧吹きを用いてココナッツピートの表面が濡れる程度に水を添加した。受精卵はココナッツピートの層の上にクラスタの状態で添加した。

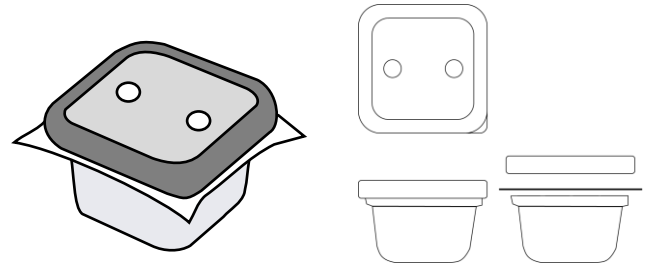


図 2. 飼育器の概略図

前飼育期間の飼育器内の水分管理は前飼育開始時の蓋とグラスファイバーネットを除いた飼育器重量を計測し, 2 日ごとに前飼育開始時の飼育器重量になるように水を添加することで行った。前飼育は実験期間までに幼虫の体重, 体長, 栄養組成等を可能な限り揃えること及び幼虫のサイズを実験者が扱いやすい大きさまで育てることを目的に孵化確認後から 8 日間行った。

2.2. 副産物消費試験

2.2.1. 幼虫の回収

前飼育の終了時 9 個のナンバリングされた飼育器に幼虫をそれぞれ 50 匹ずつ, ピンセットを使用して添加し, 飼育器の蓋をした。全ての飼育器で幼虫の取り出しが終了した後, それぞれ 50 匹の幼虫を各飼育器から蒸発皿に乗せ, 重量を計測した。この重量を 50 で割った値を各飼育器の実験開始時の平均体重とした。また前飼育の飼育器に残っている幼虫を 10 匹取り出し, 体長を計測した。この値を実験開始時の平均体長とした。

2.2.2. 副産物と幼虫の添加

飼育器は前飼育で使用したものと同一ものを用いた。それぞれの飼育器に乾燥重量の計測によって算出された乾物率を用いて乾物量で 3 g になるように各副産物を添加した。その後, 含水率が 70% になるように水を添加した。オカラについては含水率が

70%を超えている為、水は添加しなかった。各副産物が入った飼育器に前節で分けた幼虫を添加し、飼育器の重量を計測した。全ての飼育器重量を計測した後、蓋とグラスファイバーネットを取り付け、消費試験開始とした。試験中の各飼育器はコンテナボックスに入れ温度 27°C、暗所の条件で部屋に静置した。

2.2.3. 体重と体長の計測、副産物の管理

試験開始日から 2 日ごとに観察と体重、体長の計測、副産物の管理を行った。体重と体長の計測は飼育器内からランダムに 10 匹をサンプリングし、合計体重から平均体重を算出、各個体の体長から平均体長を算出した。体重の計測時は必要に応じて幼虫の体についた残渣を水やティッシュを用いて取り除いた。殆どの場合、サンプリングから時間が経っているため、残渣が乾燥し体から剥がれていた。剥がれた残渣はピンセットを用いて取り除いた。2 日目の体長に関しては 5 匹の体長、4 日目以降から 10 匹の体長を計測した。副産物の水分管理は、各飼育器が試験開始日の飼育器重量になるように水を添加することで行った。また副産物を追加した場合は飼育器重量を計測し、次の計測時より追加した直後の飼育器重量になるように水を添加した。各飼育器を毎日観察し、必要に応じて乾燥重量の計測によって算出された乾物率を用いて乾物量で 3 g になるように各副産物を添加し、含水率が 70%になるように水を添加した。オカラについては含水率が 70%を超えている為、試験開始時同様に水は添加しなかった。

2.2.4. 試験終了

消費試験は 16 日目で終了した。試験終了時、各飼育器に残っている幼虫からランダムに 10 匹をサンプリングし、合計体重と体長を計測した。合計体重から最終日の平均体重を計測した。

3. 結果及び考察

図 2、図 3 に副産物を食べさせた BSF 幼虫の平均体重及び平均体長の推移を示す。平均体重及び平均体長の推移より、各副産物を与えた飼育器内の BSF 幼虫が添加直後から試験期間終了までに平均体重及び平均体長が増加していた。このことから BSF 幼虫は本試験で与えた酒粕、オカラ、米糠を摂食するこ

とが可能であり、これらの副産物を摂食することで成長することが確認された。各副産物を与えた幼虫の成長速度に着目するとオカラのみが試験期間中に体重、体長の最大値を迎え減少傾向を見せた。BSF 幼虫は蛹になる過程で体重が減少し、体の節の間隔が小さくなることで体長が減少することが報告されている⁸⁾。このことからオカラを与えた幼虫の成長速度が速いことで試験期間中に蛹化が進行し、体重及び体長が減少したと考える。その次に体重、体長の増加が速かったのは米糠であった。体重に関しては 12 日から 16 日の間で増加量が極端に小さくなった為、試験終了時に体重の最大値が近かったと考えられる。

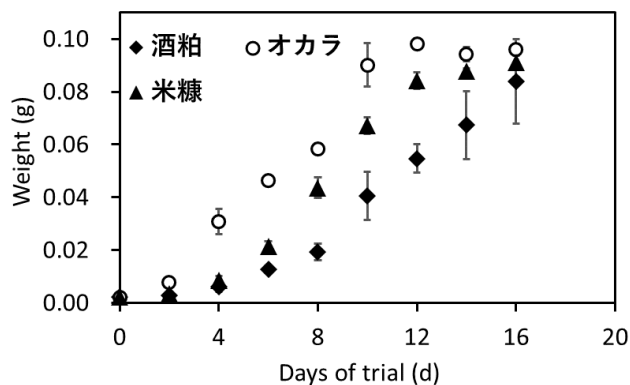


図 2. 各副産物を与えた幼虫の平均体重の推移

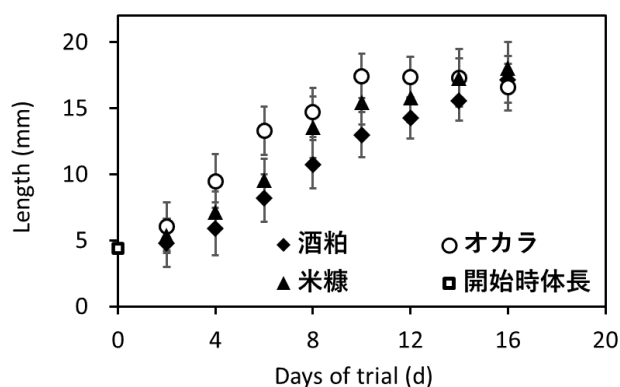


図 3. 各副産物を与えた幼虫の平均体長の推移

このことから各副産物を与えた時、幼虫の成長速度はオカラ、米糠、酒粕の順で速かった。またオカラが BSF 幼虫の生育に対して優秀な餌となる可能性が示唆された。一方で、本実験で与えた副産物の中で幼虫に成長が遅かったのは酒粕であった。酒粕を与える系で成長が遅かった原因としては、腸内微生物

群集構造の影響が考えられる。Cheng-liang Jiang ら (2019) は与えた餌によって幼虫の腸内微生物の群集構造が大きく変化することを報告しており、その構造によって **BSF** 幼虫の代謝が変化する可能性を示唆している⁹⁾。本実験で用いた酒粕にはおよそ 8.2%のアルコールが含まれており、酵母も含まれていることから腸内微生物群集構造が米糠やオカラを与えた系に比べて大きく異なっていた可能性が考えられる。これらの関係性を明らかにする為には腸内微生物群集構造の解析を行い、与えた副産物による腸内細菌叢の変化を調査する必要があると考える。米糠を与えた系とオカラを与えた系で成長速度に差が出た原因はタンパク質の含有量と形質の差があると考えられる。水を含めた初期添加量 10 g 当たりのタンパク質量はオカラが 0.6 g であり、米糠が 0.4 g である。その為、オカラのタンパク質の含有率が多いことで成長が速くなったと考えられる。形質の差では酒粕、米糠は水と混ぜることでペースト状になったが、オカラは含水率を揃えるために水を与えておらず、実験開始時のオカラはケーキ状であった。オカラがケーキ状であることで例えば幼虫の体に掛かる圧力が小さいことや口でオカラを掴みやすかったことなど、他の餌との形質的な差が生じ、オカラを食べた幼虫の成長速度が速くなった可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究では地域資源を利用した **BSF** の飼育方法の確立を目的とし、酒粕、オカラ、米糠を **BSF** 幼虫にそれぞれ与え、**BSF** 幼虫の成長特性を調査した。その結果、全ての副産物を与えた幼虫で成長が見られた。このことから、副産物を用いた **BSF** 幼虫が可能であることが確認された。また体重及び体長の推移から成長速度を比較した所、オカラ、米糠、酒粕の順で成長が速いことが示唆された。

謝辞

本研究の一部は、「北陸地域の活性化に関する研究助成事業」を受け、長岡水イノベーションハブの活動の一環として実施いたしました。

参考文献：

- 1) UNFPA (2021), 世界人口白書 2021: 142
- 2) FAO, JLIFAD, UNICEF, WFP, World health Organization (2020), 2020 The State of Food Security and Nutrition in the World: 12
- 3) 農林水産省 (2018), 平成 30 年度 2028 年における世界の食料需給見通し—世界食料需給モデルによる予測結果—: 10-12
- 4) 農林水産省,
https://www.maff.go.jp/j/zyukyu/zikyu_ritu/ohana_si01/01-04.html, 2022 年 10 月閲覧
- 5) JAICAF (2011), 世界の食料ロスと食料廃棄:5
- 6) 農林水産省 (2017), 令和元年度食品廃棄物等の年間発生量及び食品循環資源の再生利用等実施率 (推計値):1
- 7) M. Meneguz et al (2018), Effect of rearing substrate on growth performance waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae, J Sci Food Agric 2018;98:5776-5784
- 8) WT.Kim et al (2010), The Larval Age and Mouth Morphology of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae), Int. J. Indust. Entomol. Vol. 21, No. 2, 2010, pp. 185-187
- 9) C.-L.Jiang et al (2019), Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) strengthen the metabolic function of food waste biodegradation by gut microbiome, *Microbial Biotechnology*;12:528-543