

令和 7年 4月30日

令和6年度 共同研究報告書

研究代表者： 佐藤 智

1. 研究課題名	日本語表記:アメリカミズアブ幼虫による堆肥化処理の豚糞内寄生虫卵の感染性に及ぼす影響 英語表記: The Effect of Composting Treatment by Black Soldier Fly Larvae on the Infectivity of Parasitic Eggs in Swine Manure		
2. 研究期間	令和 6年 4月 1日 ~ 令和 7年 3月31日		
3. 共同研究者	氏 名	機関・所属部署名	職 名
	吉田 彩子	国立大学法人宮崎大学・産業動物防疫リサーチセンター	センター長・教授
4. 研究目的	<p>近年、畜産分野では家畜糞尿の適切な処理が、持続可能な資源循環の観点から大きな課題となっている。特に豚糞は、栄養塩類の濃度が高く、水質汚染リスクを増大させるだけでなく、<i>Salmonella</i> 属菌などの細菌性病原体や回虫卵など多様な病原体を含むことが知られている(1)。なかでも豚回虫(<i>Ascaris suum</i>)卵は、極めて強固な卵殻構造を有し、低温や化学物質などの通常環境下でも長期間生存しうるため(2, 3)、従来のたい肥化や貯留によっても十分に不活化されず、残存するリスクが指摘されている(4, 5, 6)。</p> <p>一方、アメリカミズアブ(<i>Hermetia illucens</i>, 以下BSF)の幼虫(Larvae、BSFの幼虫を以下BSFL)を利用した有機性廃棄物の処理技術は、廃棄物中の有機物を効率的に分解すると同時に、高タンパク・高脂質な幼虫バイオマスを生成できる点で注目を集めている(7, 8, 9)。近年、BSFL処理が細菌性病原体の削減に効果的であるとの報告が蓄積しているが(7, 8, 9)、抵抗性の高い豚回虫卵への不活化効果については十分に解明されていない(6)。そこで本研究では、BSFL処理が豚糞由来の豚回虫卵の生存率にどのような影響を及ぼすかを評価し、畜産現場における寄生虫リスク低減の新技术としての有用性を検証する。</p> <p>研究目的</p> <ol style="list-style-type: none"> BSFL処理と対照処理の比較による、処理後の豚回虫卵生存率の評価。 処理中の温度モニタリング等を通じた環境要因の把握と、卵不活化のメカニズムの考察。 BSFLによる処理効果と、従来の低温・貯留管理(たい肥化を含む)で懸念される卵残存リスクとの比較検討。 <p>以上により、BSFL処理が厚い卵殻をもつ豚回虫卵を不活化しうるかを科学的に評価し、家畜糞尿由来資源を安全かつ効率的に循環利用するための基礎的知見を提供する。なお、BSFL処理技術の大規模化および他病原体に対する効果検証についても、将来的に検討を進める予定である。</p>		

5. 研究内容・成果

本研究では、まず山形大学農学部応用生態学研究室において BSFL 投入密度と豚糞分解効率との関係の評価する予備試験を行った。その後、宮崎大学にて実際の豚回虫卵を用いた不活化効果の検証を行い、BSFL 処理中に生じる温度上昇などの物理的要因について観察を行った。

豚糞の供給源および保管方法

- **豚糞（山形大学での予備試験）**：山形県庄内地方にある「有限会社いずみ農産」で肥育されている豚から得られたもの。前日から当日にかけて排出された新鮮な糞を収集し、マイナス 80℃ で 2 日以上冷凍した後、約-25℃の冷凍庫へ移動して保管した。使用時には室温で自然解凍している。超低温での冷凍には超低温フリーザー（MDF-C8V1-PJ、PHC）を用いた。
- **豚糞（宮崎大学での本試験）**：宮崎大学の学生サークル「Be-Corns!」で飼育している母豚の糞を最長で 2 週間程度冷蔵保存したものを用いた。

予備試験（BSFL 投入密度の影響確認）

試験方法

山形大学農学部応用生態学研究室において、孵化後 7～10 日齢の BSFL を用い、豚糞 50 g あたり 0（対照）、50、100、150、200 個体の 5 段階の幼虫密度を設定した。各区 5 反復で、30℃条件下（恒温器：MIR-554、PHC）にて 2 週間処理を行い、処理後に乾燥重量減少率を指標として豚糞の分解効率を評価した。容器は 200 mL 容量のポリプロピレン製を用いた。

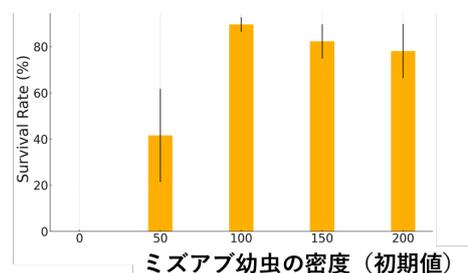


図1 ミズアブ幼虫の密度と生存率 (%)

結果と考察

- **密度の影響（生存率）（図1）**：LD=50 は LD=100～200 と比較して生存率が平均 30～50 ポイント低かったが、有意水準 5%では有意差ではなかった。
- **成長率（GR：増体重）（図2）**：GR に対する 2 次回帰分析で 2 次項 (LD²) の追加は有意なモデル改善とはならず (p=0.541)、GR と密度の関係が 2 次曲線（山型）を示す明確な証拠は得られなかった。
- **豚糞重量の減少量（WR：質量減少率）（図3）**：WR に対する 2 次回帰分析では、2 次項の追加でモデルが有意に改善 (p=0.0128) し、最適密度付近で最大の減容効果が得られる可能性が示唆された。

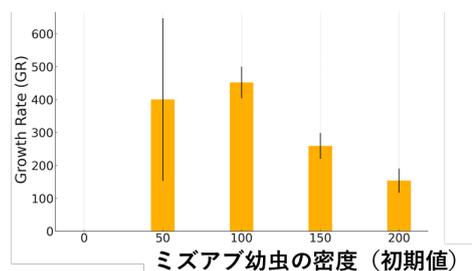


図2 ミズアブ幼虫の密度と成長率 (%)

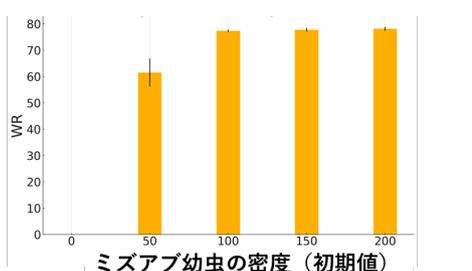


図3 ミズアブ幼虫の密度と豚糞重量の減少率 (%)

これらの結果から、BSFL 密度が 100 個体/50 g 以上で、分解効率が向上することが示され、BSFL の生存率や飼育容易性も鑑み、宮崎大学での本試験では 2000 個体の幼虫/1 kg の豚糞を投入する設定を採用した。

本試験（豚回虫卵の不活化効果評価）

実験環境と試験条件

本試験は、宮崎大学・獣医研究棟 4 階の P2 レベル実験室にて実施した。母豚の糞を 1～2 週間冷蔵保存したもの（繊維質が多い、豚回虫卵フリー）を用い、外部から豚回虫卵を添加する形で不活化効果を検証している。また、BSFL の餌として用いていた米ぬかが少量混入したため、考察で影響を検討

する。

- **試験区:** ミズアブ処理区 (BSFL あり) と対照区 (BSFL なし) の 2 区。
- **使用豚糞量:** 1 容器あたり豚糞 1 kg を充填した。
- **容器:** 容器は 1000 mL 容量のポリプロピレン製を用いた。
- **幼虫投入量:** 孵化後 10 日齢の BSFL 200 個体を投入して試験を開始し、2 週間後に孵化後 2 週間以上の BSFL 100 個体を追加。
- **温度:** 30°C に設定した恒温器 (TVN680TA, AvantTec) 内で処理。
- **回虫卵:** 推定 177 万 3000 卵/10 mL のスラリーを手作業で均等に混合し、豚糞へ添加。豚回虫卵は市販または研究機関由来。
- **湿度管理:** 相対湿度を 60% 前後に維持することを目標としたが、実際には 95% を超えることも多く、容器の自然通気の調整で酸欠とカビ発生を防止 (7-9, 11)。

回虫卵生存率の測定

処理終了後、容器内部から複数点を採取し混合した試料をウィスコンシン変法 (ショ糖浮遊液) で回収した。得られた試料を正立顕微鏡 (Nikon Eclipse E100) で観察し、卵内部に明瞭な幼虫が存在したものを生存卵と判定した。生存卵数を全卵数に対して比率化し、生存率を算出した。

結果

- **豚回虫卵の生存率 (図 4):** BSFL 処理区の生存率は平均 0.08% (標準偏差 0.26) と非常に低く、対照区 (2.69%、標準偏差 2.33) との差異は Welch の t 検定 ($p=0.0026$)、Mann-Whitney の U 検定 ($p=0.0037$) のいずれにおいても有意と認められた。
- **温度上昇・アンモニア生成:** BSFL 処理区の基質内部温度は平均 33.5°C であり、対照区は 32.3°C であった。また、アンモニア生成量や GHG (温室効果ガス) 排出との関連については Chen et al. (2019) (11) の報告などから、BSFL が幼虫代謝を通じて処理基質の温度やアンモニア発生を増幅させる可能性が示唆される。
- **物理的攪拌効果:** 幼虫の活動による物理的攪拌や、消化管通過に伴う機械的刺激によって、豚回虫卵が複合的ストレスを受け不活化が促進された可能性がある (9, 11)。

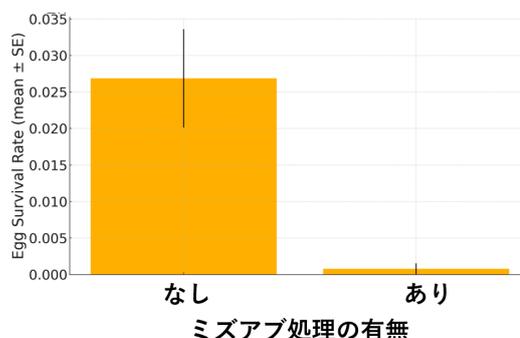


図 4 ミズアブによる処理と豚回虫卵の生存率

考察

研究目的 1 (BSFL 処理と対照処理の比較による卵生存率評価)

本試験結果により、BSFL 処理区では豚回虫卵の生存率が対照区の約 1/30 以下に低減し、**顕著な不活化効果**が確認された。これにより、第一の目的は達成されたといえる。

研究目的 2 (処理中の温度モニタリングと卵不活化メカニズム)

温度モニタリングの結果、BSFL 処理区では内部温度が対照区よりも 1°C 以上高い値を示した。Chen et al. (2019) (11) によれば、BSFL は幼虫の代謝や廃棄物分解プロセスで温度上昇やアンモニア発生を促進するため、それらの物理・化学的要因が豚回虫卵の不活化に寄与している可能性が高い。さらに、BSFL は物理的攪拌効果も有する (9)、これらが総合的に働いた結果、卵生存率の大幅な低下をもたらしたと考えられる。

研究目的 3 (BSFL 処理と従来の低温・たい肥化貯留管理との比較検討)

従来の低温・たい肥化や貯留のみでは、豚回虫卵のように耐久性の高い寄生虫卵を十分に不活化できない報告がある (6)。本研究でも、対照区 (常温放置に近い条件) では 2 週間程度で卵が残存してお

り、BSFLによる**積極的かつ短期的**な処理が寄生虫リスクの低減に有効な手段となりうることが示唆された。

米ぬか混入の影響

宮崎大学での試験では、導入した BSFL に付着していた米ぬかが少量混入した。米ぬかには炭水化物・タンパク質などが豊富に含まれ、微生物活動を活性化してアンモニア生成や温度上昇を加速させる可能性が指摘される。今回の結果において BSFL 処理の効果が顕著に示されたものの、米ぬかの影響を除外できない点から、**今後は米ぬか含量を正確に制御**した試験系を構築し、その影響を定量化する必要がある。

今後の展望

既存研究では、BSFL 処理は *Salmonella* 等の病原菌の抑制にも有効とされ(7, 8, 9)、今回の結果は**抵抗性の高い豚回虫卵でも一定の不活化**が得られる可能性を示唆している。ただし、スケールアップ時の通気・湿度・温度管理、処理後に幼虫の表面や処理残渣への卵付着リスクなど、解決すべき課題は多い(6, 10, 11)。一方で、BSFL 処理は温室効果ガス排出抑制(11)や多種多様な有機基質への適用性が期待され、**家畜糞尿処理の高度化**に大きく寄与する技術となり得る。

引用文献リスト

1. 川崎 稔弥, 川崎 淨教, 松本 由樹, 矢野 公伸, 平康 博章, 瀬山 智博, 笠井 浩司, 岩瀬 P 俊一郎, 藤谷 泰裕. (2019). アメリカミズアブ (*Hermetia illucens*) による食品廃棄物の資源循環を目指して-アメリカミズアブの幼虫による家庭系食品廃棄物の処理と残渣の肥料的価値について-. 廃棄物資源循環学会研究発表会講演集, 30(0), 267.
2. Osanai, A., Harada, S., Sakamoto, K., Shimizu, H., Inaoka, D. K., & Kita, K. (2009). Crystallization of mitochondrial rhodoquinol-fumarate reductase from the parasitic nematode *Ascaris suum* with the specific inhibitor flutolanil. *Acta Crystallographica Section F: Structural Biology and Crystallization Communications*, 65(Pt 9), 954-957.
3. Jang, S., Lakshman, S., Beshah, E., Xie, Y., Molokin, A., Vinyard, B. T., Urban, J. F., Jr, Davis, C. D., & Solano-Aguilar, G. I. (2017). Flavanol-Rich Cocoa Powder Interacts with *Lactobacillus rhamnosus* LGG to Alter the Antibody Response to Infection with the Parasitic Nematode *Ascaris suum*. *Nutrients*, 9(10), 1111.
4. Leles, D., Gardner, S. L., Reinhard, K., Iñiguez, A., & Araújo, A. (2012). Are *Ascaris lumbricoides* and *Ascaris suum* a single species? *Parasites & Vectors*, 5, 42. DOI:
5. Joseph F. Urban, Yan Hu, Miller, M. M., Scheib, U., Yiu, Y. Y., & Aroian, R. V. (2013). *Bacillus thuringiensis*-derived Cry5B Has Potent Anthelmintic Activity against *Ascaris suum*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 7(7), e2263.
6. Manser, N. D., Wald, I., Ergas, S. J., Izurieta, R., & Mihelcic, J. R. (2015). Assessing the fate of *Ascaris suum* ova during mesophilic anaerobic digestion. *Environmental Science & Technology*, 49(5), 3128-3135.
7. Kananaujiya P. (2021). Rapid Composting Potential of Black Soldier Fly Larvae: A Review. *Journal of Environmental Engineering and Studies*, 6(2) 12, 4261-4272.
8. Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Foods*, 6(10), 91.
9. Lalander, C., Diener, S., Magri, M. E., Zurbrügg, C., Lindström, A., & Vinnerås, B. (2013). Faecal sludge management with the larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*)-From a hygiene aspect. *Science of the Total Environment*, 458-460, 312-318.
10. Wang, L., Zhang, J., Zhang, G., Yi, X., Li, H., Li, Y., & Li, X. (2021).

Changes in speciation, mobility and bioavailability of Cd, Cr and As during the transformation process of pig manure by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Journal of Integrative Agriculture*, 20(5), 1157-1166.

11. Chen, J., Hou, D., Pang, W., Nowar, E. E., Tomberlin, J. K., Hu, R., Chen, Y., Yu, Z., & Li, Q. (2019). Effect of moisture content on greenhouse gas and NH₃ emissions from pig manure converted by black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Science of the Total Environment*, 697, 133840.

※ 必要に応じて、枠を広げて記載してください。

6. 成果となる論文・学会発表等

本研究課題で得られた成果をもとに、以下の学会発表・論文投稿を予定している。また、「一般財団法人 畜産ニューテック協会の令和7年度研究調査助成事業」において、下記のテーマで採択が決定している。

- **研究テーマ名（助成申請）：**

「アメリカミズアブ(*Hermetia illucens*)幼虫による豚フンの処理が豚回虫卵に及ぼす影響と、豚フン肥料の作物栽培における効果の検証」

(国立大学法人宮崎大学・産業動物防疫リサーチセンター センター長・教授 吉田 彩子 氏との共同研究)

将来的には、本研究で得られた残渣（フラス）を用いた作物栽培試験の結果なども含め、より包括的な成果を論文化する予定である。

※採択された際の通知コピーを添付