

Тип на статията: Статия

Type of the Paper: Article

Биоконверсия на отпадъци чрез черната муха войник (*Hermetia illucens*)

Любомир Никовски, Мирена Железарова, Марк Болард

Насекомо ЕАД, ул. „Съединение“ № 299, с. Лозен, България

lnikovski@yahoo.com

Waste bioconversion by black soldier fly (*Hermetia illucens*)

Lyubomir Nikovski, Mirena Zhelezarova, Mark Bolard

NASEKOMO EAD, 299 Suedinenie Str., Lozen, Bulgaria

lnikovski@yahoo.com

Резюме: Ларвите на черната муха войник (*Hermetia illucens*) се утвърдиха като обещаващ устойчив източник на протеини за животински фуражи. Производството им в търговски мащаб обаче често зависи от скъпи суровини. Това проучване изследва възможността за включване на биологични отпадъци от производството на сок в хранителните режими на ларвите. Целта е да се определи оптималната степен на включване на тези отпадъци – до 30 %, без да се нарушават растежът, развитието и хранителното качество на ларвите. Чрез оценяване на биомасата на ларвите, степента на оцеляване и профилите на хранителните вещества това изследване има за цел да допринесе за разработването на по-рентабилни и екологични практики за производство на BSFL.

Ключови думи: черна муха войник (BSF), биоконверсия на отпадъци.

Abstract: Black soldier fly larvae have (*Hermetia illucens*) emerged as a promising sustainable protein source for animal feed. However, their commercial-scale production often relies on costly feedstocks. This study investigates the feasibility of incorporating biological waste from juice production into larval diets. The objective is to determine the optimal inclusion rate of this waste, up to 30%, without compromising larval growth, development, and nutritional quality. By evaluating larval biomass, survival rates, and nutrient profiles, this research aims to contribute to the development of more cost-effective and environmentally friendly BSFL production practices.

Key words: black soldier fly (BSF), waste bioconversion

Въведение

Повторното използване на хранителните странични продукти за храна на животните е от съществено значение за намаляване на количеството на биологичните отпадъци, но има строги законови изисквания, които трябва да бъдат спазени. За да се защити здравето на населението, иновациите в тази област трябва да се придържат към правилата за безопасност [Van Raamsdonk et al., 2023]. Въпреки че тези нови стратегии са обещаващи, увеличаването на мащаба на решенията и преговорите с регулаторните среди все още представляват трудности, което подчертава необходимостта от повече изследвания и политическа

подкрепа. Чрез използването на ларвите на BSF за преработка на биологични отпадъци е възможно да се намали обемът на отпадъците, да се генерират ценни странични продукти и да се допринесе за по-кръгова икономика.

Черната муха войник е с кратък жизнен цикъл (около 45 дни), изключително бързо нарастване и преминаване в етапи на развитие (Фиг. 1 и Фиг. 2), обитава топли региони, но въпреки това Европа се превърна в основен играч в широкомащабното отглеждане на BSF за производство на ресурси и управление на отпадъци. Този нововъзникващ сектор се възползва от изключителния капацитет на ларвите на BSF да превръщат органичните отпадъци в ценни стоки. В България представител на такъв тип производство е „Насекомо“ ЕАД. „Насекомо“ ЕАД е български биотехнологичен стартап, създаден през 2017 г., който е водещ на пазара на протеини от насекоми в Европа. Основният им фокус е върху използването на ларви на черна муха за производство на устойчиви и изобретателни продукти. Използвайки концепциите за безотпадъчно производство и кръгова икономика, „Насекомо“ ЕАД превръща органичните отпадъци в първокласни протеинови и липидни суровини за фуражния сектор. Техният уебсайт [Nasekomo EAD] поставя силен акцент върху откритостта, като отговаря на всички притеснения на местните жители относно производствения им завод в с. Лозен. Те описват своята отдаденост на отговорността към околната среда, процедурите за управление на отпадъците и предпазните мерки за безопасност. Храната, която „Насекомо“ ЕАД използва за отглеждане на своите ларви е базирана на компоненти, които се считат за странични или отпадни, като например бирена мая, получена след края на пивоварния процес и пшенични трици. BSF превръщат тези отпадъчни продукти във висококачествен протеинов източник и масло. Останалата преработена храна, след като са премахнати ларвите, се нарича фрас и се използва като биотор. Този биотор е богат на минерали като калий, фосфор и азот, който може да се използва за подобряване на продуктивността и растежа на растенията [Susilo et al., 2024]. Изследванията показват редица предимства на фраса в селското стопанство, включително способността значително да подобрява почвеното плодородие, да повишава добивите и да потиска вредители като картофените цистообразуващи нематоди [Anedo et al., 2024].

Доказано е, че храненето с плодови отпадъци на ларвите на черната муха значително подобрява техния растеж и хранително съдържание. Отпадъците от плодове имат най-висока ефективност на биоконверсия сред другите изследвани органични отпадъци, когато се използват за биоконверсия на ларви на BSF, което показва потенциални резултати в устойчивото управление на отпадъците [Karthikeyani et al., 2024]. Редица научни проучвания са изследвали подробно храненето на ларвите на черната муха войник с потокалови отпадъци. Според изследванията ларвите на BSF могат ефективно да преработват потокалови отпадъци като например кюспе, като намаляват потенциала им за замърсяване и произвеждат полезна биомаса от ларвите [Dzepe et al., 2023]. Установено е обаче, че трябва да се добавят други брашнени остатъци, за да се допълни само чистото потокалово кюспе, тъй като то е недостатъчно за поддържане на развитието на BSF от хранителна гледна точка [Da Costa et al., 2024].

В процеса на производство на сокове се отделят големи количества органични отпадъци, които замърсяват околната среда и водят до разхищение на ресурси. Например компанията „La Jugosa“ произвежда около 1,5 t отпадъци всеки ден от извличането на плодов сок и пулпа, които се натрупват и разграждат на сметищата, като отделят токсични газове и утайки [Ashton & Diego, 2010]. Потенциалът за продукти с по-висока добавена стойност от отпадъците в бизнеса с потокалов сок се доказва от изследванията, които се

провеждат в Бразилия за производството на химикали, горива и енергия от отпадъци от преработката на портокали [Suzuki et al., 2023]. В процеса на производство на портокалов сок се генерират три основни вида отпадъци: силаж, пресованите и пресните портокалови отпадъци често се използват като храна за животни или за други дейности с ниско въздействие върху околната среда [Christofi et al., 2022]. Подобно на много други хранително-вкусови отрасли, производството на сокове в България генерира органични отпадъци под формата на плодови кори, пулпа и странични продукти от преработката, което предоставя възможност за устойчиви практики за управление като например решения, базирани на ларвите на черната муха войник.



Фиг. 1. Първите три етапа на развитие на *Hermetia illucens*: А. яйце; В. новоизлюпена ларва (неонет); С. 5-дневна ларва (снимка: личен архив)



Фиг. 2. Последващите четири етапа на развитие, А. 12-дневна ларва; В. предкакавида; С. какавида; D. възрастна муха (снимка: личен архив)

Цел и задачи на експеримента

Основната цел на това проучване е да се оцени въздействието на различни проценти от включването на биологични отпадъци от портокали и зелени ябълки върху растежа, развитието и оцеляването на ларвите на BSF. Освен това проучването имаше за цел да оцени

потенциала за обогатяване на ларвите и субстрата с витамин С чрез включването на тези отпадъци от плодове. Чрез разбирането на ефектите от включването на биоотпадъци от портокали и зелени ябълки върху ларвите на BSF това изследване допринася за разработването на устойчиви и ефективни стратегии за управление на отпадъците. Констатациите могат да дадат информация за бъдещите приложения на ларвите на BSF при преработката на органични отпадъци и производството на продукти с добавена стойност.

Местен производител на пресни сокове „ФРЕШКО 2020“ ООД генерира големи количества органични отпадъци (портокалови кори и пулпа, ябълкови обелки) и търси екологично устойчиво решение за тяхната преработка, като същевременно спазва нормативните изисквания.

Целта на отдел „Научноизследователска и развойна дейност“ на „Насекомо“ ЕАД е да се създаде план за включване в диетата на BSF, съхранение и логистика.

За изпълнение на тази цел си поставихме следните задачи:

1. Да се проучи цялостно потенциалът на отпадъците от ябълки и портокали като устойчиви суровини за ларвите на черната муха войник (BSF).

2. Чрез систематично включване на различни количества от тези плодови отпадъци в рецептите за храна да се оптимизират хранителните режими за максимален растеж, развитие и ефективност на преобразуване на хранителните вещества (FCR – feed conversion ratio).

3. Посредством обстойно наблюдение и анализ на показателите за ефективност на ларвите, включително темп на растеж, преживяемост, производство на биомаса и състав на хранителните вещества, да се установи оптималното съотношение между плодовите отпадъци и другите хранителни компоненти.

В крайна сметка, чрез изясняване на хранителната стойност на ларвите на BSF, отглеждани с обогатени с плодови отпадъци диети, и оценка на намаляването на органичните отпадъци, това изследване ще допринесе за разработването на икономически жизнеспособни и екологично устойчиви системи за производство на BSF, способни ефективно да се справят с предизвикателствата, породени от управлението на плодовите отпадъци.



Фиг. 3. Предварителна преработка на полученият от ФРЕШКО 2020 ООД отпадъчен материал от ябълка и портокал (снимка: личен архив)



Фиг. 4. А. Приготвен субстрат в началото на експеримента; В. 12-дневни ларви, отделени от субстрата в края на експеримента; С. Остатъчен преработен субстрат (фрас) в края на експеримента (снимка: личен архив)

За постигане на тези цели, получените от „ФРЕШКО 2020“ ООД суровини бяха предварително обработени с цел хомогенизиране на материала и намаляване на размера на частиците (Фиг. 3) и бяха инкорпорирани в различни съотношения в ларвения субстрат (Фиг. 4А). Ларвите бяха отгледани от 5-ти до 12-ти ден от тяхното развитие върху експерименталният субстрат, като през цялото време бяха поддържани оптимални условия за развитие. В края на експеримента, на 12-ти ден от развитие, ларвите бяха отделени от субстрата и разделени на биомаса и преработен субстрат (Фиг. 4В и С).

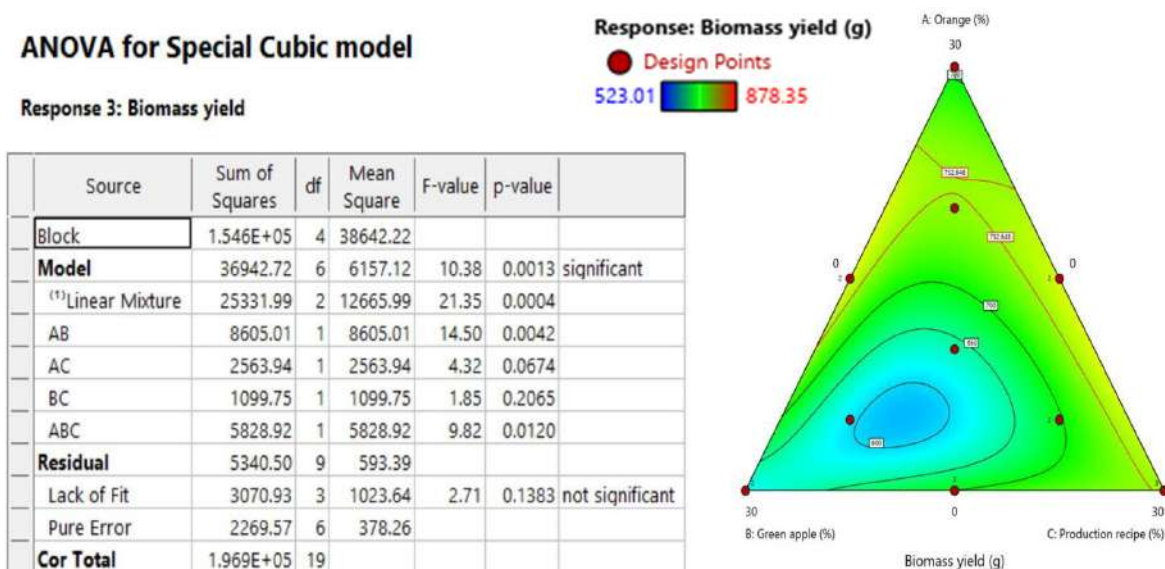
Резултати и дискусия

Резултатите от експеримента са от полза за приложението на ябълковите отпадъци като източник на храна за ларвите. Общите резултати не бяха толкова обнадеждаващи, колкото се предполагаше, въпреки факта, че ларвите показаха забележителна преживяемост (Фиг. 7), когато се хранеха с ябълкови отпадъци. По-специално, крайните оценки на биомасата (Фиг. 5) и коефициента на преобразуване на храна (FCR) (Фиг. 6) показаха незадоволителни резултати в сравнение с алтернативните варианти на хранене. Наблюдаваното несъответствие означава, че макар ларвите да са в състояние да издържат на ябълковите отпадъци, може да има неблагоприятно въздействие върху способността им да растат и да натрупват биомаса поради наличието на нещо в отпадъците. Нехранителни елементи или дисбаланс на критични хранителни вещества могат да имат този ефект, което би довело до по-малко ефективен растеж и използване на енергия. Тези констатации доведоха до решението да се преустанови използването на ябълкови отпадъци в повнататъшни опити.

Включването на портокалови отпадъци в експерименталния субстрат показва много окуражаващи резултати, което затвърди потенциала им като ценен компонент в храната на ларвите. Анализът на данните показва, че ларвите, хранени с храна, включваща портокалови отпадъци, показват коефициент на преобразуване на фуража (FCR) (Фиг. 6), преживяемост (Фиг. 7) и добив на биомаса (Фиг. 5), които са забележително сходни с тези, постигнати със стандартната производствена рецепта. Впечатляващо е, че в някои случаи показателите на ларвите, хранени с портокалови отпадъци, дори превъзхождат показателите на ларвите,

хранени с конвенционалната диета. Това предполага, че портокаловите отпадъци не само отговарят на хранителните нужди на ларвите, но могат също така да подобрят растежа и развитието им отвъд това, което се постига с традиционните рецепти за хранене.

Въпреки че смесените рецепти, съдържащи отпадъци от зелена ябълка и портокал, се представиха сравнително добре в сравнение със стандартните производствени рецепти и рецептите, съдържащи само портокалови отпадъци, по отношение на преживяемостта (Фиг. 7) и добива на биомаса (Фиг. 5), те показаха значително по-лошо съотношение на преобразуване на фуража (FCR) (Фиг. 6). Това показва, че макар ларвите да са били в състояние да оцелеят и да се развиват ефективно със смесената храна, те са се нуждаели от повече храна за постигане на същото ниво на биомаса в сравнение с другите диети. Повисокият FCR предполага, че смесената рецепта е била по-неефективна при превръщането на храната в телесна маса, вероятно поради дисбаланс в усвояването на хранителните вещества или наличието на компоненти в отпадъците от зелени ябълки, които пречат на оптималното използване на храната.



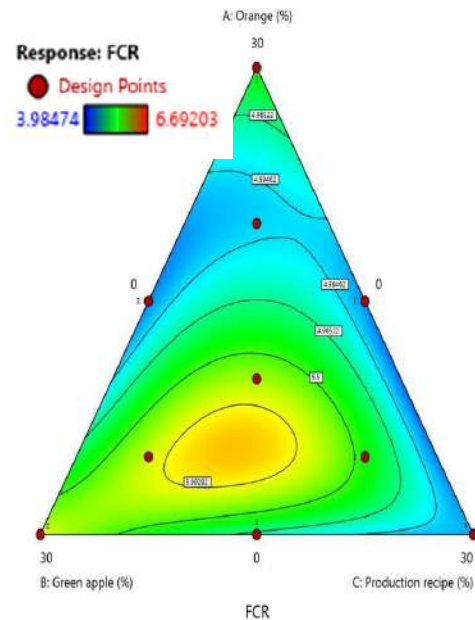
Фиг. 5. Анализ на въздействието на различните % плодови отпадъци върху получената биомаса

По-добри или равностойни характеристики на портокаловите отпадъци в тези критични области подчертават тяхната жизнеспособност като устойчива алтернатива на конвенционалните фуражни съставки. Това е особено важно, като се имат предвид екологичните и икономическите ползи, свързани с използването на селскостопански странични продукти като портокаловите отпадъци. Чрез повторното използване на тези отпадъци производителите могат да намалят разходите за фуражи, като същевременно намаляват въздействието на изхвърлянето на отпадъците върху околната среда. Обещаващите резултати от това проучване са в подкрепа на по-широкото използване на портокалови отпадъци в хранителните режими за ларви на черната муха войник, като предлагат убедителни аргументи за включването им в търговските рецептури на субстратите.

ANOVA for Reduced Special Quartic model

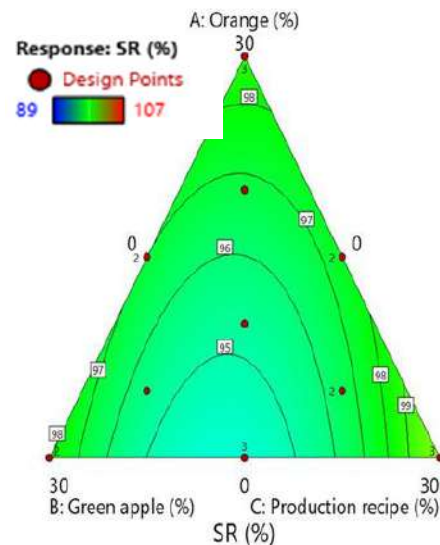
Response 5: FCR

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Block	7.13	4	1.78			
Model	3.28	7	0.4684	23.14	0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	2.12	2	1.06	52.47	< 0.0001	
AB	0.6278	1	0.6278	31.02	0.0005	
AC	0.1560	1	0.1560	7.71	0.0241	
BC	0.0764	1	0.0764	3.78	0.0879	
ABC	0.7762	1	0.7762	38.35	0.0003	
A ² BC	0.2923	1	0.2923	14.44	0.0052	
Residual	0.1619	8	0.0202			
Lack of Fit	0.0697	2	0.0348	2.27	0.1850	not significant
Pure Error	0.0923	6	0.0154			
Cor Total	10.57	19				

**Фиг. 6.** Анализ на въздействието на различните % плодови отпадъци върху FCR**ANOVA for Quadratic model**

Response 2: SR

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Block	549.42	4	137.35			
Model	65.67	5	13.13	2.19	0.1362	not significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	16.60	2	8.30	1.39	0.2945	
AB	3.11	1	3.11	0.5191	0.4877	
AC	7.07	1	7.07	1.18	0.3027	
BC	44.45	1	44.45	7.42	0.0214	
Residual	59.91	10	5.99			
Lack of Fit	15.41	4	3.85	0.5196	0.7260	not significant
Pure Error	44.50	6	7.42			
Cor Total	675.00	19				

**Фиг. 7.** Анализ на въздействието на различните % плодови отпадъци върху FCR**Заклучение**

В заключение, този експеримент успешно демонстрира включването на отпадъчни материали от ябълки и портокали в рецепти за храна на черната муха (BSF), разкривайки важни идеи за потенциала на тези отпадъчни материали за устойчиво отглеждане на насекоми. Въпреки че отпадъците от зелени ябълки не оказаха отрицателно въздействие върху оцеляването на BSF, те се оказаха по-малко ефективни от портокаловите отпадъци по отношение на цялостната им пригодност за ларвите. От друга страна, включването на

портокаловите отпадъци в диетата на BSF не само не доведе до намаляване на ефективността или производството на продукти, но и показва потенциални ползи, които биха могли да повишат качеството на получените продукти. Освен това експериментът подчертава по-широкия потенциал на използването на BSF в системата за управление на биоотпадъците. Чрез ефективното рециклиране на органични отпадъчни материали като странични продукти от портокали и ябълки този подход не само допринася за намаляване на отпадъците, но и подпомага производството на ценни, богати на хранителни вещества продукти. Тази двойна полза превръща BSF в обещаващ инструмент за устойчиво земеделие и управление на отпадъците, демонстрирайки жизнеспособен път напред за превръщане на органичните отпадъци във висококачествени ресурси, като същевременно се насърчава екологичната устойчивост.

Благодарности

Авторите изказват благодарност на колегите от „Насекомо“ ЕАД, на департамент „Природни науки“ на Нов български университет за възможността за изготвяне на магистърска теза по темата и на „ФРЕШКО 2020“ ООД, които предоставиха биологичен материал, нужен за провеждането на това проучване.

ЛИТЕРАТУРА

- Anedo, E. O., D. Beesigamukama, B. Mochoge, N. K. Korir, S. Haukeland, X. Cheseto, S. Subramanian, S. Kelemu, C. M. Tanga, 2024. Evolving dynamics of insect frass fertilizer for sustainable nematode management and potato production. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1343038>
- Ashton, F., J. Diego, 2010. *Elaboración de briquettes de biomasa combustible a partir de desechos de fruta*. SciSpace - Paper. <https://typeset.io/papers/elaboracion-de-briquettes-de-biomasa-combustible-a-partir-de-r1wlnidya6>
- Christofi, A., D. Tsipiras, D. Malamis, K. Moustakas, S. Mai, E. M. Barampouti, 2022. Biofuels production from orange juice industrial waste within a circular economy vision. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 103028. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103028>
- Da Costa E Silva, D., R. M. Da Silva, A. Köhler, D. P. De Vargas, 2024. Bioconversion of orange pomace using *Hermetia illucens* larvae: development and nutritional composition of the larvae. *Revista Brasileira De Ciências Ambientais*, 59. <https://doi.org/10.5327/z2176-94781974>
- Dzepe, D., H. M. Kuietche, O. Magatsing, F. Meutchieye, P. Nana, T. Tchuinkam, R. Djouaka, 2023. From agricultural waste to chicken feed using insect-based technology. *Journal of Basic & Applied Zoology*, 84(1). <https://doi.org/10.1186/s41936-023-00339-5>
- Karthikeyani, T., K. Sivasubramanian, M. Maheswari, N. Chitra, S. Saravanan, P. Jothimani, S. Karthika, 2024. The Efficiency of Black Soldier Fly Larvae with Vegetable, Fruit and Food Waste as Biological Tool for Sustainable Management of Organic Waste. *International Journal of Environment and Climate Change*, 14(2), 441–448. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2024/v14i23959>
- Nasekomo EAD: <https://nasekomo.life/>

- Susilo, H., N. Nurmayulis, M. A. Syahbana, A. H. Sodiq, 2024. The potential of Frass BSF as an organic fertilizer for making sustainable agriculture a reality. *Journal Biologi Tropis/Jurnal Biologi Tropis*, 24 (2), 209–215. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6782>
- Suzuki, L. L., I. L. C. Cunha, C. E. Teixeira, L. Kulay, M. T. D. Santos, 2023. The modeling and simulation of waste recovery processes applied to the orange juice industry. *Sustainability*, 15(21), 15225. <https://doi.org/10.3390/su152115225>
- Van Raamsdonk, L., N. Meijer, E. Gerrits, M. Appel, 2023. New approaches for safe use of food by-products and biowaste in the feed production chain. *Journal of Cleaner Production*, 388, 135954. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.135954>