

SKŁAD CHEMICZNY I ZAWARTOŚĆ TOKOFEROLI W LARWACH *TENEbrio MOLITOR* ŻYWIANYCH DAWKAMI POKARMOWYMI Z DODATKIEM PROSZKU JAJECZNEGO

Oskar Parchucik¹, Andrzej Gugolek^{2*}, Janusz Strychalski²

¹Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Bioinżynierii Zwierząt, Katedra Hodowli Zwierząt Futerkowych i Łowiectwa, Studenckie Koło Naukowe Hodowców Zwierząt Amatorskich, ul. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn

²Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Wydział Bioinżynierii Zwierząt, Katedra Hodowli Zwierząt Futerkowych i Łowiectwa, ul. Oczapowskiego 5, 10-719 Olsztyn

*Autor do korespondencji: gugolek@uwm.edu.pl



Andrzej Gugolek: <https://orcid.org/0000-0002-5360-9755>

Janusz Strychalski: <https://orcid.org/0000-0003-0948-3072>

Praca finansowana z działalności statutowej Katedry Hodowli Zwierząt Futerkowych i Łowiectwa, Wydziału Bioinżynierii Zwierząt, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie

Abstrakt

Celem badań była ocena wpływu żywienia dawkami pokarmowymi zawierającymi różny poziom proszku jajecznego na skład chemiczny i zawartość tokoferoli w larwach mącznika młynarka. Larwom grupy kontrolnej (K) podawano paszę w postaci zgranulowanych otręb pszennych, bez żadnych dodatków. W grupie doświadczalnej pierwszej (D1) 50% dawki stanowiły otręby pszenne, a 50% proszek jajeczny, natomiast w paszy podawanej grupie doświadczalnej drugiej (D2) udział wymienionych komponentów wynosił odpowiednio: 25 i 75%. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że suplementacja paszy proszkiem jajecznym spowodowała, po 48 godzinach od podania, wzrost zawartości suchej masy i tłuszczu surowego w składzie larw. Obniżeniu uległ natomiast poziom popiołu surowego i związków bezazotowych wyciągowych. Wzrósł również poziom sumy tokoferoli oraz ich frakcji α i γ , a obniżył się β .

Słowa kluczowe: gut loading, mącznik młynarek, proszek jajeczny, skład chemiczny, tokoferole

Wstęp

Współczesna zootechnika zajmuje się nie tylko typowymi zwierzętami użytkowymi, lecz także amatorskimi. Wśród nich liczne gatunki należą do zwierząt nazwanych umownie „egzotycznymi”, których warunki utrzymania w niewoli i żywienie nie zostały do końca jeszcze określone. Odpowiednie zbilansowanie dawki pokarmowej, zapewniające pokrycie potrzeb żywieniowych, ma kluczowe znaczenie dla utrzymania wysokiego poziomu dobrostanu tych zwierząt (Cooper i Williams, 2014). Gut loading to praktyka żywieniowa polegająca na podawaniu owadom karmowym specjalnie przygotowanej, wzbogaconej paszy, na krótko przed ich spożyciem

przez zwierzę docelowe. Pozwala to na pośredni transfer do organizmów tych zwierząt wybranych składników pokarmowych, mineralnych lub różnych substancji biologicznie czynnych (Oonincx i Finke, 2023). Metoda ta została początkowo opracowana jako odpowiedź na niedobory wapnia i witaminy A powszechnie występujące u owadów i żywionych nimi gadów. Stosowana jest zarówno przez hodowców amatorów, jak i komercyjne firmy zajmujące się produkcją karm dla zwierząt towarzyszących (pet food) (Pennino i in., 1991; Finke i in., 2005; Boykin i in., 2021). Większość badań wskazuje, że zawartość przewodów pokarmowych owadów karmowych może modyfikować ich skład chemiczny, co ma szczególne znaczenie w profesjonalnej hodowli gadów i płazów dla zachowania dobrostanu żywieniowego (Oonincx i in., 2015).

Nowoczesne podejście do gut loadingu uwzględnia nie tylko minerały, ale także witaminy, witaminy i ich pochodne. Szczególne zainteresowanie wzbudzają karotenoidy, które wpływają między innymi na intensywność ubarwienia i funkcjonowanie układu odpornościowego zwierząt (Tan i in., 2020). Rzadziej obiektem badań były witamina E i tokoferole (Pennino i in., 1991; Oonincx i Finke, 2021). Finke (2003) sugeruje, aby do diety mączników mającej na celu wzbogacanie ich przewodów pokarmowych, obok innych związków stosować dodatek 660 mg/kg α -tokoferolu. Tokoferole są silnymi przeciwutleniaczami i najbardziej bioaktywną formą witaminy E, wśród nich α -tokoferol jest formą najczęściej dominującą w tkankach roślinnych i zawsze w zwierzęcych. Należy jednak pamiętać o ich dość niskiej trwałości wynikającej z wysokiej wrażliwości na czynniki zewnętrzne (Galli i Azzi, 2010). Tokoferole występują w wielu surowcach roślinnych, takich jak nasiona oraz produkty powstające w wyniku ich przetworstwa. Znajdują się również w żółtku jaj, stanowiąc kluczowy składnik o właściwościach przeciwutleniających (Bourre i Galea, 2006; Ko i in., 2020).

Ze względu na krótki czas pasażu treści pokarmowej u owadów optymalny okres suplementacji w celu ich wzbogacenia wynosi zazwyczaj od 24 do 48 godzin przed skarmianiem. Skuteczność metody gut loading zależy od gatunku owada. Świerszcze kumulują składniki odżywcze szybciej niż larwy mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*) (Gorst i in., 2015). Pomimo tego właśnie ten drugi gatunek, ze względu na łatwość hodowli, jest najczęściej wykorzystywany jako owad karmowy (Finke, 2003).

Mącznik młynarek jest wszechobecnym globalnym szkodnikiem magazynowanych zbóż i produktów zbożowych, który stał się jednym z najczęściej hodowanych owadów karmowych (Finke, 2003; Huis i Gasco, 2023). Od dziesięcioleci jest wykorzystywany do żywienia gadów w hodowlach hobbystycznych i ogrodach zoologicznych (Valdés i in., 2022). W ostatnich latach jego wykorzystanie stale rośnie, gdyż zaczął być stosowany także w żywieniu zwierząt towarzyszących, takich jak psy i koty, a także w akwakulturze. Był to pierwszy owad jadalny, któremu nadano status „nowej żywności” (Novel Food) w UE, co zapoczątkowało możliwość masowej produkcji mączek białkowych na bazie owadów (Huis i Gasco, 2023).

W żywieniu gadów owadożernych, takich jak np. agamy brodate (*Pogona vitticeps*) czy gekony lamparcie (*Eublepharis macularius*), larwy mącznika służą jako wysokobiałkowe źródło energii, dostarczające niezbędnych aminokwasów (Makkar i in., 2014). Chociaż zwracano uwagę na niekorzystny w ich składzie stosunek wapnia do fosforu, nowoczesne metody żywienia – w tym gut loading – pozwalają na optymalizację ich wartości żywieniowej poprzez suplementację wapnia (Moruzzo i in., 2021). Ponadto, larwy mącznika, dzięki swojej ruchliwości, stymulują naturalne instynkty łowieckie jaszczurek, co jest bardzo ważne dla ekspresji naturalnych zachowań u tych gadów w hodowli zamkniętej (Grau i in., 2017). Obecnie mącznik młynarek jest postrzegany jako najbardziej zrównoważona alternatywa dla wytwarzania białka pochodzącego od zwierząt gospodarskich, ponieważ jego hodowla wymaga minimalnych zasobów wody i powierzchni (Oonincx i in., 2015).

Opisane badania wykonano w celu oceny wpływu żywienia dawkami pokarmowymi zawierającymi 50 i 75% proszku jajecznego na podstawowy skład chemiczny i zawartość tokoferoli w larwach mącznika młynarka.

Material i metody

Badania przeprowadzono w Laboratorium Katedry Hodowli Zwierząt Futerkowych i Łowiectwa UWM w Olsztynie. Żywe larwy mącznika młynarka w przedostatnim stadium rozwoju, zakupione z krajowej firmy zajmującej się hodowlą owadów karmowych, ulokowano w 18 plastikowych pojemnikach o wymiarach: 30×14,5×10 cm z wentylowanymi pokrywami oraz zbiorniczkiem na wodę, który zapewniał utrzymanie odpowiedniej wilgotności. W każdym pojemniku umieszczono 200 g larw. Pojemniki podzielono na 3 grupy żywieniowe ($n=6$). W pomieszczeniu utrzymywano temperaturę 22–24°C, wilgotność 50–70% oraz reżim świetlny światło/ciemność – 10 h/14 h. Przed rozpoczęciem doświadczenia larwom nie podawano pokarmu przez 48 h, co jest zgodne z powszechną praktyką podczas badań tego typu (Finke, 2003; Boykin i in., 2021).

Czynnikiem doświadczalnym był dodatek proszku jajecznego do paszy standardowej, którą były otręby pszenne. Pasze te zakupiono w komercyjnej firmie zajmującej się handlem paszami. Według deklaracji sprzedawcy zostały wyprodukowane w Polsce. Aby uzyskać maksymalną homogenność pasz, poddano je procesowi wymieszania, a następnie granulowania. Do granulowania pasz wykorzystano pelecniarkę do biomasy KL, ZLSP o średnicy oczek matrycy 4 mm. Granulat produkowano w krótkich odcinkach czasowych, aby proces granulowania nie nagrzewał korpusu pelecniarki powyżej 35°C, co kontrolowano za pomocą termometru umieszczonego na korpusie pelecniarki.

Larwom grupy kontrolnej (K) podawano paszę w postaci zgranulowanych otręb pszennych, bez żadnych dodatków. W grupie doświadczałnej pierwszej (D1) 50% dawki stanowiły otręby pszenne, a 50% proszek jajeczny, natomiast w paszy podawanej grupie doświadczałnej drugiej (D2) udział wymienionych komponentów wynosił odpowiednio: 25 i 75%. Podstawowy skład chemiczny oraz poziom tokoferoli w otrębach pszennych i proszku jajecznym przedstawiono w tabelach 1 i 2, natomiast w granulatach: K, D1, D2 w tabelach 3 i 4.

Eksperyment właściwy, podczas którego żywiono mączniki badanymi dawkami pokarmowymi, trwał kolejne 48 h, po czym owady zostały zamrożone w temperaturze –25°C, a następnie przekazane do Laboratorium Katedry Żywienia Zwierząt, Paszoznawstwa i Hodowli Bydła UWM w celu przeprowadzenia analiz chemicznych i oznaczenia poziomu: suchej masy, popiołu surowego, białka ogólnego, tłuszczu surowego i włókna surowego w paszach ich komponentach oraz larwach. Poziom substancji organicznej wyliczono z różnicy suchej masy i popiołu surowego, a związki bezazotowe wyciągowe uzyskano po odjęciu od substancji organicznej, białka ogólnego, tłuszczu surowego i włókna surowego. Analizy przeprowadzono według standardowych metod AOAC (2006). Zawartość tokoferoli w paszach oznaczono metodą wysokosprawną chromatografią cieczową (HPLC), zgodnie z Polskimi Normami (PN–EN ISO 14565 2002, PN–EN ISO 6867 2002).

Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji, programem STATSOFT INC. Statistica 12.0 (2015) a istotność różnic między średnimi określono za pomocą testu Duncana, na poziomach istotności $P \leq 0,05$ i $P \leq 0,01$.

Tabela 1. Skład chemiczny otręb pszennych i proszku jajecznego (%)

Table 1. Chemical composition of wheat bran and egg powder (%)

Pasze Feeds	Wyszczególnienie Specification						
	Sucha masa Dry matter	Popiół su- rowy Crude ash	Substancja orga- niczna Organic matter	Białko ogólne Crude pro- tein	Tłuszcz su- rowy Crude fat	Włókno su- rowe Crude fibre	ZBW* NFE**
Otręby pszenne Wheat bran	86,96	4,64	82,32	15,67	3,00	10,82	52,83
Proszek jajeczny Egg powder	92,54	2,65	89,89	55,33	20,16	0,50	13,90

*Związki bezazotowe wyciągowe, **Nitrogen-free extract.

Tabela 2. Zawartość tokoferoli w otrębach pszennych i proszku jajecznym (mg/kg)

Table 2. Tocopherol content in wheat bran and egg powder (mg/kg)

Pasze Feeds	Wyszczególnienie Specification				
	α -tokoferol α -tocopherol	β -tokoferol β -tocopherol	γ -tokoferol γ -tocopherol	δ -tokoferol δ -tocopherol	Suma tokoferoli Total tocopherols
Otręby pszenne Wheat bran	5,408	0,299	5,233	0,547	11,487
Proszek jajeczny Egg powder	20,248	0,124	7,945	0,944	29,261

Tabela 3. Skład chemiczny mieszanek paszowych (%)

Table 3. Chemical composition of feed mixtures (%)

Wyszczególnienie Specification	Mieszanki paszowe Feed mixtures		
	K	D1	D2
Sucha masa Dry matter	86,96	89,75	91,14
Popiół surowy Crude ash	4,64	3,65	3,15
Substancja organiczna Organic matter	82,32	86,10	91,14
Białko ogólne Crude protein	15,67	35,50	45,42
Tłuszcz surowy Crude fat	3,00	11,58	15,87
Włókno surowe Crude fibre	10,82	5,66	3,08
ZBW* NFE**	52,82	33,36	26,77

*Związki bezazotowe wyciągowe, **Nitrogen-free extract.

Tabela 4. Zawartość tokoferoli w mieszankach paszowych (mg/kg)

Table 4. Tocopherol content in feed mixtures (mg/kg)

Wyszczególnienie Specification	Mieszanki paszowe Feed mixtures		
	K	D1	D2
α -tokoferol α -tocopherol	5,408	12,828	16,538
β -tokoferol β -tocopherol	0,299	0,211	0,168
γ -tokoferol γ -tocopherol	5,233	6,589	7,267
δ -tokoferol δ -tocopherol	0,547	0,745	0,845
Suma tokoferoli Total tocopherols	11,487	20,373	24,818

Wyniki

W tabeli 5 przedstawiono skład chemiczny larw mącznika młynarka żywionych otrębami – grupa K oraz paszami D1 i D2 zawierającymi 50 i 75% proszku jajecznego. Dodatek czynnika doświadczalnego wpłynął na wzrost zawartości suchej masy w badanych larwach. W przypadku grupy D2 różnica w porównaniu z grupą K była statystycznie istotna. Obniżył się także statystycznie istotnie poziom popiołu surowego. Ponadto w grupach D1 i D2 wzrósł poziom tłuszczu surowego. W przypadku grupy D2 wskazana różnica była statystycznie istotna. Natomiast poziom związków bezazotowych wyciągowych obniżył się statystycznie istotnie w grupach doświadczalnych.

Stwierdzono również, że pomimo braku statystycznego zróżnicowania dodatek proszku jajecznego do pasz wpłynął na wzrost poziomu substancji organicznej i białka oraz spadek zawartości włókna surowego w larwach mącznika.

Zawartość tokoferoli w larwach mącznika przedstawiono w tabeli 6. Dodatek proszku jajecznego zróżnicował statystycznie zawartość sumy tokoferoli i poszczególnych jego frakcji, poza δ -tokoferolem. Udział w paszy 50 i 75% proszku jajecznego spowodował w składzie larw mącznika wzrost poziomu α -tokoferolu i γ -tokoferolu w porównaniu z grupą kontrolną. W pierwszym przypadku różnica ta była statystycznie wysoko istotna nie tylko między grupą D2 a K, lecz również między D2 i D1. Poziom γ -tokoferolu był natomiast statystycznie wysoko istotnie wyższy w obu grupach doświadczalnych. Wykazano natomiast statystycznie istotne obniżenie frakcji β -tokoferol, w grupach larw żywionych dawkami z dodatkiem czynnika doświadczalnego. Suma tokoferoli w larwach mącznika wzrastała wraz ze wzrostem udziału mączki jajecznej w mieszankach paszowych. W grupie D2 była statystycznie wysoko istotnie wyższa niż w K, a w D1 istotnie wyższa. Wystąpiła także różnica statystycznie istotna między grupami doświadczalnymi D1 i D2.

Tabela 5. Skład chemiczny (%) larw mączników (mean $\pm$ SD)
Table 5. Chemical composition (%) of mealworm larvae (mean $\pm$ SD)

Wyszczególnienie Specification	Grupy Groups		
	K	D1	D2
Sucha masa Dry matter	40,84 ^b $\pm$ 1,89	43,22 $\pm$ 1,79	44,05 ^a $\pm$ 0,89
Popiół surowy Crude ash	1,60 ^a $\pm$ 0,07	1,11 ^b $\pm$ 0,11	1,01 ^b $\pm$ 0,22
Substancja organiczna Organic matter	39,24 $\pm$ 1,77	42,11 $\pm$ 1,73	43,04 $\pm$ 0,74
Białko ogólne Crude protein	21,66 $\pm$ 1,27	22,52 $\pm$ 1,49	23,06 $\pm$ 1,57
Tłuszcz surowy Crude fat	13,63 ^b $\pm$ 0,28	15,98 $\pm$ 2,83	16,70 ^a $\pm$ 2,61
Włókno surowe Crude fibre	1,72 $\pm$ 0,07	1,57 $\pm$ 0,05	1,35 $\pm$ 0,10
ZBW* NFE**	2,23 ^{Aa} $\pm$ 2,24	2,04 ^b $\pm$ 5,43	1,93 ^B $\pm$ 2,12

*Związki bezazotowe wyciągowe, **Nitrogen-free extract.

A,B – P<0,01; a,b – P<0,05.

Tabela 6. Zawartość tokoferoli (mg/kg) larwach mącznikach (mean±SD)

Table 6. Tocopherol content (mg/kg) in mealworm larvae (mean±SD)

Wyszczególnienie Specification	Grupy Groups		
	K	D1	D2
α-tokoferol α-tocopherol	0,306 ^B ±0,092	0,371 ^B ±0,052	0,466 ^A ±0,030
β-tokoferol β-tocopherol	0,046 ^{Aa} ±0,003	0,038 ^b ±0,006	0,033 ^B ±0,005
γ-tokoferol γ-tocopherol	0,058 ^B ±0,003	0,061 ^A ±0,003	0,066 ^A ±0,002
δ-tokoferol δ-tocopherol	0,013±0,001	0,016±0,001	0,017±0,001
Suma tokoferoli Total to- copherols	0,423 ^B ±0,008	0,486 ^b ±0,010	0,582 ^{Aa} ±0,013

A,B – P<0,01; a,b – P<0,05.

Omówienie wyników

Uzyskane we wszystkich grupach wyniki dotyczące składu chemicznego larw mącznika (tab. 5) należy uznać za mieszczące się w granicach opisywanych w literaturze. Finke (2003) podaje, że skład chemiczny owadów, nawet tego samego gatunku, może być bardzo zróżnicowany. Rozbieżność tych wartości wynika z szeregu czynników, takich jak: skład chemiczny podawanej paszy, stadium rozwoju larw, temperatura i wilgotność (Siemianowska i in., 2013; Yi i in., 2013; Mattioli i in., 2024; Mancini i in., 2021; Kröncke i Benning, 2023).

Największy wpływ na zawartość składników odżywczych w owadach miała podawana im pasza. Składy chemiczne otrąb i proszku jajecznego (tab. 1 i 2) były typowe dla tych pasz i oscylowały w zakresach podawanych w literaturze. Otręby opisane w badaniach Apprich i in. (2014) zawierały: 87,9% suchej masy, 13,2–18,4% białka ogólnego, 3,5–3,9% tłuszczu surowego, 13,8–24,9% włókna surowego i 56,8% węglowodanów. Natomiast skład chemiczny proszku jajecznego, podany w publikacjach Edusei (2025) oraz Nyefene i in. (2025), wahał się w przedziałach: 93,68–97,68% suchej masy, 55,93–58,3% białka ogólnego, 29,49–31,9% tłuszczu surowego i 2,9–7,69% węglowodanów.

Mattioli i in. (2024) podają, że larwy mącznika żywione mieszaniną czerstwego pieczywa i młóta browarnianego zawierały 32,77% suchej masy, 0,81% popiołu surowego, 18,82% białka ogólnego i 13,82% tłuszczu surowego. Skład chemiczny larw opisywany przez Liu i in. (2020) był podobny: sucha masa – 35,9%, popiół surowy – 1,5%, białko ogólne – 17,6%, tłuszcz surowy – 13,8% i węglowodany – 3,1%. Siemianowska i in. (2013) podają natomiast następujący skład: 43,74% suchej masy, 1,55% popiołu surowego, 17,92% białka ogólnego i 21,93% tłuszczu surowego. Kröncke i Benning (2023), którzy żywili larwy mącznika dawkami o poziomie białka od 10 do 80% i tłuszczu od 3 do 11%, uzyskali zawartość tych składników w larwach wynoszącą odpowiednio: 14–15% i 4–20%. Zawartość tłuszczu w larwach podana przez Mancini i in. (2021) wynosiła od 6,46 do 14,82% w zależności od diety, a w publikacji Yi i in. (2013) – 9,9%. Znacznemu zróżnicowaniu podlega również udział suchej masy w larwach, który może się wahać od poziomu 32–33% (Mancini i in., 2021), przez 36% (Yi i in., 2013) do około 42% (Ghaly i Alkoaik, 2009), co w konsekwencji rzutuje na ostateczną zawartość pozostałych składników pokarmowych.

Uzyskane w niniejszej pracy różnice w zawartości składników pokarmowych (tab. 5) wynikają niewątpliwie z ich zawartości w paszach i granulatach (tab. 1 i 3). Uważa się, że dodatek produktów wysokobiałkowych lub bogatych w tłuszcze podnosi poziom tych składników w larwach. Między innymi z tego przekonania rozwinęła się technika żywienia (wzbogacania) – gut loading (Oonincx i Finke 2023). Jednak nie wszystkie składniki pokarmowe czy mineralne w jednakowy sposób przekładają się na skład chemiczny larw. Kröncke i Benning (2023) odnotowali niską korelację między zawartością białka w paszach i larwach, które były

nimi żywione. Wykazali też, że zależność ta jest wyższa w przypadku tłuszczu i węglowodanów. Natomiast Jajić i in. (2022) podają, że wyliczona w ich badaniach korelacja między zawartością białka w paszy i larwach wynosiła 0,317, a w przypadku tłuszczu odpowiednio 0,06. Zachodziła zależność liniowa, im większy był udział białka, czy tłuszczu w dawce pokarmowej, tym większy był udział tego składnika w biomasie larw. Warto zauważyć, że nie wszyscy badacze zjawiska gut loading potwierdzają jego celowość. Gorst i in. (2015) stwierdzili, że larwy mącznika nie wykazywały statystycznie istotnego wzrostu składników pokarmowych, takich jak: białko, tłuszcz, sucha masa i popiół, badanych po 12 godzinach od nakarmienia. Jednak pasza, którą podawano mącznikom w powyższej pracy zawierała jedynie 19,34% białka i 1,32% tłuszczu.

W literaturze znane są przykłady suplementacji pasz witaminami w celu uzyskania owadów karmowych o ich zwiększonej zawartości. Niektórzy autorzy twierdzą nawet, że tak wzbogacone pasze można traktować jako nutraceutyki (Martínez-Pineda i in., 2024). Uzyskane wartości poszczególnych frakcji tokoferolu w larwach (tab. 6) i zróżnicowanie między nimi wynikały z różnej zawartości tej witaminy w paszach i granulacie (tab. 2 i 4).

Oznaczony poziom sumy tokoferoli w podawanych mącznikom otrębach (tab. 2) był zbliżony do podanego przez Zhou i in. (2005) – 12,71 mg/kg. Autorzy ci w innej swojej pracy informują, że dominującą frakcją, podobnie jak w analizowanych w tej pracy otrębach, był α -tokoferol (Zhou i in., 2004). Natomiast poziom tokoferoli w proszku jajecznym (tab. 2) był niższy niż podają dane z literatury. Pirkwiesar i in. (2022) oznaczyli go na 39,3 mg/100 g suchej masy, z dominującą frakcją α -tokoferolu. Stwierdzone zróżnicowanie wynika zapewne ze stosunkowo niskiej trwałości witaminy E (Jeon i in., 2016). Poziom tokoferoli w larwach mącznikach (tab. 6) wykazywał zróżnicowanie międzygrupowe. Uzyskane wartości były jednak niskie, co nawiązuje do ich poziomu w paszach. Inni autorzy podają wyższe wartości dotyczące zawartości tokoferoli w larwach mącznika. Przykładowo Zhang i in. (2023) stwierdzili, że poziom witaminy E w larwach mącznika żywionych otrębami wynosił 218,4 mg/kg. W innych badaniach opisanych przez Mattioli i in. (2024) w mącznikach stwierdzono 0,27 mg/kg tokoferoli z czego α -tokoferol stanowił 0,21 a β -tokoferol – 0,01 mg/kg, a Finke (2013) podaje wartość 13 mg/kg α -tokoferolu. Natomiast olej z mącznika analizowany przez Martínez-Pineda i in. (2024) zawierał 105,8 mg/kg tokoferoli z dominacją frakcji α i γ .

Podsumowanie

Uzyskane wyniki wskazują na możliwość wzbogacania larw mącznika w składniki pokarmowe i tokoferole przy użyciu naturalnej paszy – proszku jajecznego. Stwierdzono, że ten dodatek w ilościach 50 i 75% do mieszanki paszowej przeznaczonej dla larw mączników spowodował po 48 godzinach od podawania wzrost w ich składzie, zawartości suchej masy i tłuszczu surowego. Obniżeniu uległ natomiast poziom popiołu surowego i związków bezazotowych wyciągowych. Wzrósł również poziom sumy tokoferoli oraz ich frakcji α i γ , a obniżył się β . Uzyskane wyniki mają znacznie aplikacyjne, ponieważ mogą stanowić punkt odniesienia dla dalszych badań nad optymalizacją wartości pokarmowej owadów przeznaczonych do żywienia zwierząt.

Piśmiennictwo

- AOAC International (2006). Official Methods of Analysis, 18th ed. Association of Analytical Chemists: Arlington, VA, USA.
- Apprich S., Tirpanalan Ö., Hell J., Reisinger M., Böhmendorfer S., Siebenhandl-Ehn S., Novalin S., Kneifel W. (2014). Wheat bran-based biorefinery 2: Valorization of products. LWT – Food Sci. Technol., 56(2): 222–231.

- Bourre J.M., Galea F. (2006). An important source of omega-3 fatty acids, vitamins D and E, carotenoids, iodine and selenium: a new natural multi-enriched egg. *J. Nutr. Health Aging*, 10(5): 371–376.
- Boykin K., Bitter A., Mitchell M.A. (2021). Using a commercial gut loading diet to create a positive calcium to phosphorus ratio in mealworms (*Tenebrio molitor*). *J. Herpetol. Med. Surg.*, 31(4): 302–306.
- Cooper J.E., Williams D.L. (2014). The feeding of live food to exotic pets: issues of welfare and ethics. *J. Exotic Pet Med.*, 23(3): 244–249.
- Edusei V. (2025). Nutritional and physico-chemical properties of egg powder are affected by different drying methods. *Food Agric. Sci. Technol.*, 11(1): 17–34.
- Finke M. (2003). Gut loading to enhance the nutrient content of insects as food for reptiles: A mathematical approach. *Zoo Biol.*, 22(2): 147–162.
- Finke M.D. (2013). Complete nutrient content of four species of feeder insects. *Zoo Biol.*, 32(1): 27–36.
- Finke M.D., Dunham S.U., Kwabi C.A. (2005). Evaluation of four dry commercial gut loading products for improving the calcium content of crickets, *Acheta domesticus*. *J. Herpetol. Med. Surg.*, 15(1): 7–12.
- Galli F., Azzi A. (2010). Present trends in vitamin E research. *Biofactors*, 36(1): 33–42.
- Ghaly A.E., Alkoaik F.N. (2009). The yellow mealworm as a novel source of protein. *Am. J. Agric. Biol. Sci.*, 4(4): 319–331.
- Gorst V.M., Mitchell K., Whitehouse-Tedd K.M. (2015). Effect of post-gut loading time on the macro-nutrient content of three feeder invertebrate species. *J. Zoo Aquarium Res.*, 3(3): 87–93.
- Grau T., Vilcinskis A., Joop G. (2017). Sustainable farming of the mealworm *Tenebrio molitor* for the production of food and feed. *Z. Naturforsch. C*, 72(9-10): 337–349.
- Huis A., Gasco L. (2023). Insects as feed for livestock production. *Science*, 379(6628): 138–139.
- Jajić I., Krstović S., Petrović M., Urošević M., Glamočić D., Samardžić M., Popović A., Guljaš D. (2022). Changes in the chemical composition of the yellow mealworm (*Tenebrio molitor* L.) reared on different feedstuffs. *J. Anim. Feed Sci.*, 31(2): 191–200.
- Jeon Y.H., Son Y.J., Kim S.H., Kim A.N., Lee K.Y., Kim M.J., Kim S.D., Choi A.J., Kim M.R., Sung G.H., Choi S.W. (2016). Physicochemical properties and oxidative stabilities of mealworm (*Tenebrio molitor*) oils under different roasting conditions. *Food Sci. Biotechnol.*, 25(1): 105–110.
- Ko E.Y., Saini R.K., Keum Y.S., An B.K. (2020). Age of laying hens significantly influences the content of nutritionally vital lipophilic compounds in eggs. *Foods*, 10(1): 22.
- Kröncke N., Benning R. (2023). Influence of dietary protein content on the nutritional composition of mealworm larvae (*Tenebrio molitor* L.). *Insects*, 14(3): 261.
- Liu C., Masri J., Perez V., Maya C., Zhao J. (2020). Growth performance and nutrient composition of mealworms (*Tenebrio molitor*) fed on fresh plant materials-supplemented diets. *Foods*, 9(2): 151.
- Makkar H.P., Tran G., Heuzé V., Ankers P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 197: 1–33.
- Mancini S., Mattioli S., Paolucci S., Fratini F., Dal Bosco A., Tuccinardi T., Paci G. (2021). Effect of cooking techniques on the *in vitro* protein digestibility, fatty acid profile, and oxidative status of mealworms (*Tenebrio molitor*). *Front. Vet. Sci.*, 8: 675572.
- Martínez-Pineda M., Juan T., Antoniewska-Krzeska A., Vercet A., Abenoza M., Yagüe-Ruiz C., Rutkowska J. (2024). Exploring the potential of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) oil as a nutraceutical ingredient. *Foods*, 13(23): 3867.

- Mattioli S., Fratini F., Cacchiarelli C., Martinis V., Tuccinardi T., Paci G., Dal Bosco A., Mancini S. (2024). Chemical composition, fatty acid profile, antioxidant content, and microbiological loads of lesser mealworm, mealworm, and superworm larvae. *Ital. J. Anim. Sci.*, 23(1): 125–137.
- Moruzzo R., Riccioli F., Diaz S., Secci C., Poli G., Mancini S. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and challenges to promote circular economy. *Animals*, 11(9): 2568.
- Nyefene J.D., Mills-Robertson F., Amoah I., Apprey C., Edeh C. (2025). Nutritional composition and acceptability of egg powder-fortified Tom Brown among school-aged children in the Wa Municipality. *Food Sci. Nutr.*, 13(7): e70288.
- Oonincx, D.G.A.B., Finke, M.D. (2021). Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *J. Insects Food Feed*, 7(5): 639–660.
- Oonincx D.G.A.B., Finke M. (2023). Insects as a complete nutritional source. *J. Insects Food Feed*, 9(5): 541–543.
- Oonincx D.G.A.B., van Broekhoven S., van Huis A., van Loon J.J.A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12): e0144601.
- Pennino M., Dierenfeld E.S., Behler J.L. (1991). Retinol, alpha-tocopherol, and proximate nutrient composition of invertebrates used as food. *Int. Zoo Yearb.*, 30(1): 143–149.
- Pirkwieser P., Grosshagauer S., Dunkel A., Pignitter M., Schneppe B., Kraemer K., Somoza V. (2022). Evaluation of spray-dried eggs as a micronutrient-rich nutritional supplement. *Front. Nutr.*, 9: 984715.
- PN-EN ISO 6867. (2002). Pasze. Oznaczanie zawartości witaminy E. Metoda wysokosprawnej chromatografii cieczowej – tokoferole w paszach. Polska Norma.
- Siemianowska E., Kosewska A., Aljewicz M., Skibniewska K.A., Polak-Juszczak L., Jarocki A., Jędras M. (2013). Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agric. Sci.*, 4(6): 287–291.
- StatSoft Inc. (2015). Statistica (data analysis software system), version 12.
- Tan K., Zhang H., Lim L.S., Ma H., Li S., Zheng H. (2020). Roles of carotenoids in invertebrate immunology. *Front. Immunol.*, 10: 3041.
- Valdés F., Villanueva V., Durán E., Campos F., Avendaño C., Sánchez M., Domingoz-Araujo C., Valenzuela C. (2022). Insects as feed for companion and exotic pets: A current trend. *Animals*, 12(11): 1450.
- Yi L., Lakemond C.M., Sagis L.M., Eisner-Schadler V., van Huis A., van Boekel M.A. (2013). Extraction and characterisation of protein fractions from five insect species. *Food Chem.*, 141(4): 3341–3348.
- Zhang S., Tan Z.Z., Zhang J., Li S.Z., Qiu K.R., Zhu F. (2023). Comparison of vitamin E isomers composition among three animal feeds containing the insects *Musca domestica*, (Diptera: *Muscidae*), *Hermetia illucens* (Diptera: *Stratiomyidae*) and *Tenebrio molitor* (Coleoptera: *Tenebrionidae*). *Entomol. News*, 130(5): 416–431.
- Zhou K., Su L., Yu L.L. (2004). Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *J. Agric. Food Chem.*, 52(20): 6108–6114.
- Zhou K., Yin J.J., Yu L.L. (2005). Phenolic acid, tocopherol and carotenoid compositions, and antioxidant functions of hard red winter wheat bran. *J. Agric. Food Chem.*, 53(10): 3916–3922.

CHEMICAL COMPOSITION AND TOCOPHEROL CONTENT OF *TENEBRIO MOLITOR* LARVAE FED DIETS SUPPLEMENTED WITH EGG POWDER

Oskar Parchucik, Andrzej Gugolek, Janusz Strychalski

SUMMARY

The study aimed to evaluate the effect of diets containing varying levels of egg powder on the chemical composition and tocopherol content of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae. The control group (K) was fed a diet consisting of pelleted wheat bran without additives. In the first experimental group (D1), the diet comprised 50% wheat bran and 50% egg powder, while in the second experimental group (D2), these components accounted for 25% and 75% of the diet, respectively. Based on the results obtained 48 hours after administration, it was found that egg powder supplementation led to an increase in dry matter and crude fat content. Conversely, the levels of crude ash and nitrogen-free extracts decreased. Furthermore, an increase was observed in the total tocopherol content as well as the α - and γ -tocopherol fractions, whereas the β -tocopherol level declined.

Keywords: gut loading, *Tenebrio molitor*, egg powder, chemical composition, tocopherols