SZKOŁA GŁÓWNA
GOSPODARSTWA
WIEJSKIEGO

Warszawa, 20.07.2026

dr hab. Marta Mendel, prof. SGGW
Zakład Farmakologii i Toksykologii
Instytut Medycyny Weterynaryjnej
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. MARCINA G. WRÓBLA

pt. *„Ocena możliwości i efektywności biodegradacji deoksyniwalenolu w materiałach paszowych zastosowanych w procesie produkcji biomasy larw mącznika młynarka"*

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została wykonana w Katedrze Prewencji Weterynaryjnej i Higieny Pasz Wydziału Medycyny Weterynaryjnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, pod kierunkiem promotora dr hab. Tadeusza Bakuły, prof. UWM.

Podstawą formalną przygotowania recenzji jest Uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Weterynaria Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 15 maja 2026 oraz pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Weterynaria Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, prof. dr hab. Tomasza Maślanki z dnia 29 maja 2025.

Mgr Marcin Wróbel podjął aktualną i istotną z naukowego oraz aplikacyjnego punktu widzenia problematykę oceny narażenia zwierząt i człowieka na deoksyniwalenol (DON) oraz jego metabolity, wynikającego ze spożycia pasz i żywności typu *novel food* zawierających biomasę larw mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*). Tematyka ta wpisuje się w aktualne wyzwania związane z bezpieczeństwem żywności i pasz oraz oceną ryzyka zdrowotnego wynikającego z dynamicznego rozwoju alternatywnych źródeł białka. Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt, że Doktorant w sposób logiczny połączył zagadnienie powszechnego występowania mykotoksyn, w tym DON, z rosnącym znaczeniem biomasy owadziej w produkcji pasz i żywności.

Według prognoz Organizacji Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), do 2050 roku globalne zapotrzebowanie na białko pochodzenia zwierzęcego wzrośnie o około 20% w porównaniu z rokiem 2020. Rosnący popyt na białko zwierzęce, przy jednoczesnej konieczności

ograniczenia wpływu produkcji zwierzęcej na środowisko, stymuluje poszukiwanie alternatywnych, bardziej zrównoważonych źródeł białka. W tym kontekście owady są uznawane za jedno z najbardziej perspektywicznych rozwiązań, charakteryzujących się wysoką efektywnością wykorzystania paszy, niewielkim śladem środowiskowym oraz korzystnym profilem odżywczym. Biomasa owadów stanowi wartościowe źródło wysokiej jakości białka, składników mineralnych oraz, w zależności od gatunku, znacznych ilości nienasyconych kwasów tłuszczowych, co uzasadnia rosnące zainteresowanie jej wykorzystaniem zarówno w żywieniu ludzi, jak i zwierząt.

Larwy mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*) należą do najlepiej poznanych i najszerzej wykorzystywanych gatunków owadów dopuszczonych do stosowania zarówno w żywieniu zwierząt jak i jako żywność typu *novel food* dla ludzi. Gatunek ten jest obecnie hodowany na skalę przemysłową w wielu krajach Unii Europejskiej. Obowiązujące regulacje prawne dopuszczają jego hodowlę na odpowiednio dobranych substratach pochodzenia roślinnego oraz wybranych produktach ubocznych przemysłu spożywczego, co wpisuje się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym. Larwy *T. molitor* cechują się wysoką wartością odżywczą, tj. zawartość białka wynosi przeciętnie około 55% suchej masy, przy korzystnym składzie aminokwasowym, obejmującym m.in. wysoką zawartość lizyny oraz innych aminokwasów egzogennych. Ponadto stanowią one cenne źródło lipidów bogatych w nienasycone kwasy tłuszczowe, w tym kwasy z rodzin omega-3 i omega-6, co dodatkowo zwiększa ich potencjał jako zrównoważonego surowca wykorzystywanego w produkcji pasz i żywności.

Z drugiej strony, mgr Marcin Wróbel zwrócił uwagę na powszechność występowania w paszach dla owadów mykotoksyn, w tym deoksyniwalenolu, co prowadzi nie tylko do narażenia owadów na potencjalnie toksyczne oddziaływanie tej toksyny i jej metabolitów, ale również wtórne narażenie zwierząt i ludzi spożywających paszę i żywność zawierającą biomasę larw mącznika młynarka.

W świetle dynamicznego rozwoju sektora owadów jadalnych oraz rosnącego znaczenia biomasy owadziej w produkcji pasz i żywności, ocena bezpieczeństwa toksykologicznego tego typu surowców, w tym możliwości przenoszenia mykotoksyn i ich metabolitów do łańcucha żywnościowego, stanowi istotne wyzwanie naukowe i regulacyjne. Z tego względu temat podjęty przez Doktoranta należy uznać za w pełni uzasadniony, aktualny oraz posiadający istotny potencjał poznawczy i aplikacyjny.

Rozprawa doktorska przedstawiona przez mgr. Marcina Wróbla stanowi zbiór dwóch oryginalnych publikacji:

1. **Wróbel M.**, Dąbrowski M., Łuczyński M., Bakuła T., Gruchała N., Zielonka Ł. Bioconversion of Deoxynivalenol-Contaminated Feed by Yellow Mealworm (*Tenebrio molitor*) Larvae in the Production of Biomass Intended for Feed Purposes. *Toxins* 2025, 17 (8), 420 DOI:10.3390/toxins17080420. IF: 4,0; Pkt. MNiSzW: 100
2. **Wróbel M.**, Dąbrowski M., Łuczyński M., Waśkiewicz K., Bakuła T., Nowicki Ł., Zielonka Ł. Bioconversion of Deoxynivalenol by Mealworm (Tenebrio molitor) Larvae: Implications for Feed Safety and Nutritional Value. *Toxins* 2025, 17 (10), 478 DOI:10.3390/toxins17100478. IF: 4,0; Pkt. MNiSzW: 100

Obie publikacje przeszły rygorystyczny proces oceny przez recenzentów, co świadczy o ich jakości i poziomie naukowym. Każdy z artykułów przedstawia oryginalne dane w klasycznym układzie dla publikacji badań eksperymentalnych, tj. w podziale na wstęp/wprowadzenie, rozdział przybliżający wykorzystaną metodykę i model badawczy, wyniki oraz dyskusję z wnioskami. Wybór czasopisma naukowego, w którym opublikowano wyniki badań, nie budzi zastrzeżeń pod względem naukowym (*Q2: Toxicology; Q2: Food Science and Technology*), jednak należy zauważyć, że gdyby wyniki zostały opublikowane w czasopismach należących do różnych wydawnictw, można byłoby się spodziewać bardziej zróżnicowanych ocen recenzentów, co z pewnością jeszcze bardziej poprawiłoby jakość opublikowanych prac.

Niemniej, przedstawione do oceny manuskrypty stanowią spójną i dobrze skonstruowaną serię naukową poświęconą ocenie:

- wpływu DON na przeżywalność i przyrost masy larw mącznika młynarka oraz określeniu stopnia kumulacji tej mykotoksyny w biomasie larw i ich odchodach (**praca 1**),
- identyfikacji metabolitów DON produkowanych przez larwy, wraz z określeniem szlaków metabolicznych ich powstawania oraz analizą zmian w metabolizmie aminokwasów i kwasów tłuszczowych u larw owadów narażonych na DON (**praca 2**),

tworząc logicznie progresywny program badawczy.

Łącznie badania dostarczają nowych informacji na temat potencjalnego wykorzystania larw mącznika młynarka do biodegradacji pasz skażonych deoksyniwalenolem, a tym samym ograniczenia narażenia zwierząt i człowieka na tę mykotoksynę. Eksperymenty zostały

przeprowadzone w sposób poprawny pod względem metodologicznym oraz rzetelnie pod względem analitycznym.

Do najważniejszych atutów przedstawionej do oceny pracy należy zaliczyć przede wszystkim podjęcie aktualnej i dynamicznie rozwijającej się problematyki badawczej, dotyczącej wykorzystania larw *Tenebrio molitor* do biokonwersji pasz zanieczyszczonych deoksyniwalenolem w biomasę bogatą w białko. Autor umiejętnie połączył zagadnienia bezpieczeństwa żywności i pasz, gospodarki o obiegu zamkniętym oraz zrównoważonej produkcji białka, nadając prowadzonym badaniom zarówno wysoki walor poznawczy, jak i istotny potencjał aplikacyjny.

Na uwagę zasługuje dobrze zaplanowana i logiczna koncepcja badań. Pierwszy etap umożliwił ocenę losów DON w organizmie larw oraz stopnia jego kumulacji w biomasie i wydalania z odchodami, natomiast drugi skoncentrowany był na wyjaśnieniu mechanizmów biotransformacji toksyny oraz ocenie metabolicznych konsekwencji jej obecności. Takie sekwencyjne podejście pozwoliło nie tylko opisać zjawisko, lecz także podjąć próbę wyjaśnienia jego mechanizmów.

Istotną wartością pracy jest zastosowanie komplementarnych metod analitycznych, obejmujących oznaczenia metodami LC-MS/MS i LC-QTOF-MS oraz analizę profilu wolnych aminokwasów i kwasów tłuszczowych z wykorzystaniem chromatografii GC-FID. Pozwoliło to na kompleksową ocenę losów DON w organizmie owadów oraz zmian zachodzących w ich metabolizmie.

Do najważniejszych osiągnięć poznawczych należą w mojej opinii wykazanie minimalnej kumulacji DON w biomasie larw oraz potwierdzenie, że *T. molitor* nie wykazuje wysokiej wrażliwości na toksyczne działanie DON. Szczególnie cenne poznawczo jest wykazanie istnienia wielu szlaków biotransformacji DON, obejmujących glukuronidację, glukozylację, sulfonowanie oraz deepoksydację, co w istotny sposób poszerza dotychczasową wiedzę dotyczącą metabolizmu mykotoksyn u owadów.

Na podkreślenie zasługuje również wykazanie, że proces biotransformacji DON nie jest metabolicznie obojętny, lecz wiąże się z mierzalnymi zmianami w metabolizmie aminokwasów i kwasów tłuszczowych. Doktorant zidentyfikował ponadto potencjalne biomarkery ekspozycji na DON, takie jak obniżenie poziomu metioniny, lizyny, fenyloalaniny, kwasu glutaminowego czy izoleucyny, które mogą stanowić punkt wyjścia dla dalszych badań mechanistycznych.

Praca została również właściwie osadzona w aktualnym kontekście regulacyjnym i przemysłowym poprzez odniesienie do obowiązujących przepisów Unii Europejskiej dotyczących wykorzystania

owadów w żywieniu ludzi i zwierząt oraz wskazanie ich potencjalnej roli w zrównoważonej produkcji pasz. Uzyskane wyniki stanowią cenny materiał wyjściowy do dalszych badań nad mechanizmami detoksykacji mykotoksyn przez owady, rolą mikrobioty w tych procesach oraz możliwościami bezpiecznego zagospodarowania zanieczyszczonych produktów ubocznych rolnictwa. W szerszej perspektywie rozprawa otwiera nowy kierunek badań, ukazując owady nie tylko jako alternatywne źródło białka, lecz również jako potencjalne narzędzie biologicznej transformacji zanieczyszczeń paszowych, co stanowi istotny wkład w rozwój biotechnologii owadów.

Z obowiązku recenzenta wskazuję również słabsze strony pracy oraz kwestie wymagające dalszego wyjaśnienia lub mogące stać się przyczynkiem do kontynuacji badań:

– Niewystarczające uzasadnienie doboru poziomów narażenia larw na DON. W pracy zastosowano dwa stosunkowo zbliżone stężenia deoksyniwalenolu, odpowiadające poziomom spotykanym w praktyce żywieniowej, jednak nie przedstawiono uzasadnienia ich wyboru ani nie uwzględniono wyższych poziomów ekspozycji, co uniemożliwia określenie granicy tolerancji *Tenebrio molitor* oraz zależności dawka–efekt. Ponadto doktorant przyznaje, że w praktyce DON występuje zazwyczaj w towarzystwie acetylowanych pochodnych (3-acetylo-DON i 15-acetylo-DON), nie uzasadnia jednak, dlaczego w pracy zastosował jedynie deoksyniwalenol. Ponadto brakuje komentarza dotyczącego zawartości DON w paszy podawanej grupie kontrolnej w doświadczeniu.

– Krótki okres prowadzenia doświadczenia. Dwutygodniowy okres ekspozycji wydaje się niewystarczający do pełnej oceny skutków przewlekłego narażenia na DON, zwłaszcza że toksyczność tej mykotoksyny w niskich dawkach ujawnia się przede wszystkim podczas długotrwałej ekspozycji. Ponadto okres doświadczenia był znacznie krótszy od pełnego cyklu produkcyjnego larw przeznaczonych do pozyskania biomasy, co ogranicza możliwość ekstrapolacji wyników na warunki przemysłowe.

– Przedwczesne utożsamienie biotransformacji z detoksykacją. Doktorant konsekwentnie posługują się pojęciami „*detoxification*" oraz „*less toxic metabolites*", mimo że nie przeprowadzono badań potwierdzających brak toksyczności zidentyfikowanych metabolitów, ich biodostępności ani możliwości ponownej konwersji do DON w przewodzie pokarmowym zwierząt. W konsekwencji przedstawione wyniki potwierdzają zachodzenie

biotransformacji DON, lecz nie stanowią jednoznacznego dowodu na jego rzeczywistą detoksykację.

– Brak pełnego bilansu masy (*mass balance*) deoksyniwalenolu. Choć wykazano niewielką kumulację DON w biomasie larw oraz wysokie jego stężenia w odchodach, nie określono całkowitego bilansu toksyny, obejmującego ilość wydaloną, zmetabolizowaną oraz niewyjaśnioną. Ogranicza to możliwość ilościowej oceny efektywności procesu biokonwersji.

– Ograniczona ocena zmian wartości odżywczej biomasy. Analiza metabolizmu aminokwasów została ograniczona do oznaczenia wolnych aminokwasów, bez oceny całkowitej zawartości białka ani zmian w jego składzie. Utrudnia to interpretację uzyskanych wyników w kontekście rzeczywistej wartości żywieniowej biomasy.

– Doktorant wielokrotnie sugeruje udział mikrobioty jelitowej w metabolizmie DON, jednak nie przytacza danych literaturowych, które wyjaśniałyby jej potencjalny udział w biotransformacji mykotoksyn w organizmach owadów.

– Niewystarczająca analiza bezpieczeństwa odchodów larw. Wykazanie wysokich stężeń DON w odchodach larw rodzi pytania dotyczące możliwości ich dalszego wykorzystania, zwłaszcza jako nawozu organicznego, oraz potencjalnego ryzyka wtórnego wprowadzenia mykotoksyny do środowiska.

Pragnę podkreślić, że pomimo kilku wymienionych ograniczeń, ogólna jakość i wartość naukowa przedstawionej od oceny pracy pozostaje wysoka. Uzyskane wyniki mają bezdyskusyjnie wysoką wartość poznawczą, a wnioski wyciągnięte na ich podstawie są prawidłowo sformułowane. Aplikacyjny charakter uzyskanych wyników potwierdza złożone przez Zespół badawczy, którego członkiem jest Doktorant, zgłoszenia patentowego.

Podsumowując, przedstawiona do recenzji uchwałą Rady Naukowej Dyscypliny Weterynaria Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie z dnia 15 maja 2026 praca doktorska mgr Marcina Wróbla wychodzi naprzeciw aktualnym potrzebom wykorzystania larw mącznika młynarka jako alternatywnego źródła białka, z jednoczesną szansą biodegradacji deoksyniwalenolu w paszach, a tym samym ograniczenia narażenia zwierząt i konsumentów na tę mykotoksynę. Do badań przedstawionych w opublikowanych pracach zastosowano właściwe postępowanie metodyczne, które odpowiada ogólnie przyjętym wymaganiom. Dobór piśmiennictwa i

przeprowadzona dyskusja wskazują na znakomitą znajomość poruszanej problematyki, umiejętność krytycznego odniesienia się do treści przedstawianych przez innych autorów oraz prawidłowe wnioskowanie.

Przedstawiona do recenzji rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a Doktorant bezspornie wykazała się wiedzą teoretyczną oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Na podstawie dokonanej analizy przedstawionej do oceny pracy doktorskiej mgr Marcina Wróbla stwierdzam, że odpowiada ona warunkom określonym w art. 187 ust. 1-4 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2024, poza. 1571, z późniejszymi zmianami) i przedstawiam Wysokiej Radzie Dyscypliny Naukowej Weterynaria UWM w Olsztynie wniosek o dopuszczenie pana mgr Marcina Wróbla do publicznej obrony recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Marta Mendel
Elektronicznie podpisany przez Marta Mendel
Data: 2026.07.20 07:44:55 +02'00'

dr hab. Marta Mendel, prof. SGGW