

dr hab. Marta Lenartowska
Katedra Biologii Komórkowej i Molekularnej
Wydział Nauk Biologicznych i Weterynaryjnych
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Toruń, 27 lipca 2026 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr Patrycji Mermer
pt. „Analiza wpływu diety z polipropylenem na strukturę komórek wybranych
narządów larw *Galleria mellonella* (Insecta, Lepidoptera, Pyralidae) ze szczególnym
uwzględnieniem procesów śmierci komórkowej”

wykonanej pod kierunkiem Pani prof. dr hab. Magdaleny Rost-Roszkowskiej
w Zespole Histologii i Embriologii Zwierząt
Instytut Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska, Wydział Nauk Przyrodniczych
Uniwersytet Śląski w Katowicach

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska dotyczy jednego z najbardziej aktualnych zagadnień współczesnej nauki, jakim jest potencjalna zdolność mikroorganizmów oraz wybranych gatunków zwierząt do biodegradacji polimerowych tworzyw sztucznych w kontekście narastającego zagrożenia ekologicznego wynikającego z systematycznie rosnącej produkcji i akumulacji plastiku w środowisku naturalnym. Obecnie trudno wyobrazić sobie całkowitą rezygnację z tworzyw sztucznych, ponieważ dzięki swoim właściwościom, wszechstronności zastosowań i relatywnie niskim kosztom produkcji znajdują zastosowanie niemal we wszystkich dziedzinach życia i gospodarki. Z tego względu szczególnego znaczenia nabiera poszukiwanie skutecznych i bezpiecznych metod zagospodarowania odpadów z tworzyw sztucznych. Powszechnie stosowane metody, takie jak recykling chemiczny czy termiczne przekształcanie odpadów, mimo niewątpliwych zalet, nie pozostają obojętne dla środowiska, gdyż mogą prowadzić do powstawania toksycznych związków. Jednocześnie, pomimo rosnącej świadomości społecznej odnośnie skali zanieczyszczenia środowiska plastikiem oraz konieczności ograniczenia jego emisji, liczne badania wskazują na systematyczny wzrost stężenia mikro- i nanoplastiku w środowisku naturalnym, obejmującym zarówno ekosystemy lądowe i wodne, jak i organizmy roślin oraz zwierząt. Akumulacja mikro- i nanoplastiku wiąże się z ryzykiem uszkodzenia struktury komórek, tkanek i narządów, zaburzeń funkcji rozrodczych oraz innych negatywnych skutków zdrowotnych, które mogą prowadzić nawet do śmierci organizmów. W odpowiedzi na te wyzwania intensywnie poszukuje się innowacyjnych metod biodegradacji tworzyw sztucznych, wykorzystujących organizmy zdolne do rozkładu lub modyfikacji biodegradowalnych polimerów syntetycznych. Szczególne zainteresowanie budzą mikroorganizmy oraz niektóre gatunki owadów, zwłaszcza w stadium larwalnym. W ten aktualny i dynamicznie rozwijający się nurt badań wpisuje się rozprawa doktorska Pani mgr Patrycji Mermer, której głównym celem była analiza wpływu diety wzbogaconej o polipropylen (PP) na aktywację określonych parametrów cytotoxyczności w wybranych narządach larw motyli *Galleria mellonella*. Gąsienice tego gatunku, znanego w języku polskim jako barciak większy, odżywiają się materiałem organicznym, wykazując szczególną zdolność do trawienia wosku pszczelego, od czego wywodzi się angielska nazwa zwyczajowa



gatunku – ćma woskowa (*ang. wax moth*). Niezwykle interesującą cechą larw *G. mellonella* jest ich udokumentowana zdolność do trawienia polietylenu (PE), osiągająca wydajność przewyższającą możliwości wielu mikroorganizmów wykorzystywanych w procesach biodegradacji. Zarówno PP jak i PE należą do najpowszechniej stosowanych tworzyw sztucznych, które w wyniku degradacji środowiskowej ulegają fragmentacji do mikro- i nanoplastiku, stanowiącego istotne zagrożenie dla organizmów żywych. Jednocześnie wiedza dotycząca zdolności larw *G. mellonella* do degradacji PP oraz wpływu takiej diety na ich kondycję fizjologiczną jest bardzo ograniczona. W związku z powyższym podjęta przez Doktorantkę problematyka badawcza jest aktualna, w pełni uzasadniona i ma dużą wartość poznawczą z potencjalnym walorem aplikacyjnym.

Recenzja szczegółowa

Pani mgr Patrycja Mermer przedłożyła rozprawę doktorską w formie cyklu trzech opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych. Cykl ten został poprzedzony opracowaniem stanowiącym syntetyczne wprowadzenie do tematyki badawczej, przygotowanym w układzie odpowiadającym klasycznej pracy naukowej. Obejmuje ono streszczenie, wprowadzenie, określenie celu badań i hipotez badawczych, opis zastosowanej metodologii, dyskusję uzyskanych wyników, wnioski końcowe oraz spis wykorzystanej literatury. Ponadto do rozprawy dołączono oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w skład cyklu, a także rozdział przedstawiający dodatkowe osiągnięcia naukowe Doktorantki. Od strony formalnej przedstawienie rozprawy doktorskiej w postaci cyklu publikacji naukowych stanowi obecnie powszechnie akceptowaną formę przygotowania dysertacji. Jednak w przypadku prac wieloautorskich szczególnie istotnym elementem oceny jest określenie rzeczywistego wkładu Doktorantki w powstanie poszczególnych publikacji tworzących cykl. Po analizie załączonych oświadczeń współautorów oraz treści przedstawionych artykułów nie mam wątpliwości, że udział Pani mgr Patrycji Mermer w powstaniu wszystkich trzech publikacji był wiodący. Doktorantka odegrała kluczową rolę zarówno w opracowaniu koncepcji badań i realizacji części eksperymentalnej, jak i w analizie uzyskanych wyników oraz przygotowaniu manuskryptów do publikacji w renomowanych czasopismach naukowych. Moja jedyna uwaga w kwestii formalnej dotyczy rozdziału 4. opracowania poprzedzającego cykl publikacji, zatytułowanego „Autoreferat”. Rozdział ten zawiera wyłącznie wprowadzenie obejmujące charakterystykę tworzyw sztucznych, wyjaśnienie pojęcia cytotoksyczności wraz z omówieniem rodzajów śmierci komórkowej oraz charakterystykę gatunku *Galleria mellonella*. Tymczasem autoreferat, zgodnie z jego istotą, powinien stanowić syntetyczne opracowanie przedstawiające najważniejsze elementy rozprawy doktorskiej przygotowanej w formie cyklu publikacji. Powinien zatem obejmować wszystkie zasadnicze zagadnienia zaprezentowane przez Doktorantkę w opracowaniu poprzedzającym cykl. Z tego względu tytuł rozdziału 4. uważam za niefortunny. Bardziej adekwatnym byłoby zatytułowanie go po prostu „Wprowadzenie”, co lepiej odzwierciedla jego rzeczywistą zawartość.

Streszczenie rozprawy doktorskiej, podobnie jak każdej pracy naukowej, powinno być zwarte i rzeczowe; powinno zawierać najważniejsze elementy rozprawy przedstawione w logicznej kolejności, takie jak problem naukowy/przedmiot badań, hipoteza badawcza, cel



badania, opis modelu badawczego, zarys metodologii, syntetyczne podsumowanie uzyskanych wyników prowadzące do sformułowania wniosków końcowych, a także wykazanie ich znaczenia naukowego oraz waloru aplikacyjnego, jeśli taki występuje. Spośród wymienionych elementów zamieszczone w rozprawie streszczenie zawiera wszystkie, z wyjątkiem hipotezy badawczej. W dalszej części opracowania Doktorantka formułuje osiem hipotez szczegółowych, które są precyzyjnie określone i mogłyby stanowić podstawę do sformułowania nadrzędnej hipotezy badawczej. Naturalnie nie jest moją intencją ingerowanie w merytoryczny zakres dysertacji ani proponowanie zmian w jej konstrukcji. **Jednak zwracam uwagę na brak tego elementu i oczekuję, że podczas obrony Doktorantka przedstawi główną hipotezę badawczą, stanowiącą podstawę do sformułowania ośmiu hipotez szczegółowych poddanych weryfikacji w toku badań.** Uważam to za szczególnie istotne, ponieważ problematyka podjęta w rozprawie doktorskiej ma duże znaczenie naukowe i łączy dwa komplementarne nurty badawcze – teoretyczny i aplikacyjny – które są równie istotne w kontekście współczesnych wyzwań związanych z postępującą degradacją środowiska naturalnego, będącą konsekwencją działalności człowieka.

Wprowadzenie jest opracowane w sposób klarowny, logiczny i bez zbędnego rozmachu. W pierwszej części Doktorantka opisała rodzaje tworzyw sztucznych oraz realne zagrożenia wynikające z obecności ich odpadów w środowisku naturalnym, zwracając szczególną uwagę na problem globalnej emisji mikro- i nanoplastiku oraz jego akumulacji w komórkach roślin i zwierząt. Następnie omówiła proces naturalnej degradacji polimerów syntetycznych z udziałem mikroorganizmów i wybranych gatunków zwierząt, w szczególności larw owadów. W kolejnej części Doktorantka przedstawiła zagadnienia związane z cytotoksycznością oraz indukowaną przez nią odpowiedzią komórkową, omawiając skutki stresu oksydacyjnego, różne mechanizmy śmierci komórkowej, a także zjawisko autofagii. W ostatniej części wprowadzenia scharakteryzowała model badawczy – motylkę *Galleria mellonella* – koncentrując się na jej cyklu rozwojowym i wyjątkowych zdolnościach larw tego gatunku do trawienia wosku pszczelego i tworzyw sztucznych, przede wszystkim PE, ale także PP. Moją uwagę zwróciła czwarta kolumna Tabeli 1., zawierająca wartości czasu trwania poszczególnych stadiów larwalnych (L1-L7) wyrażone w dniach, np. 4,08 dnia dla stadium L1 czy 5,72 dnia dla stadium L2. Zastanawiam się, czy bardziej czytelnym rozwiązaniem nie byłoby przedstawienie tych wartości w godzinach lub w postaci pełnych dób i godzin. Ponadto nasuwa się pytanie dotyczące sposobu wyznaczenia takich wartości jak 0,08 dnia. Przypuszczam, że są to wartości średnie, jednak nie znalazłam tej informacji w treści opracowania. Pomijając tę drobną uwagę, uważam, że wprowadzenie stanowi bardzo dobre przygotowanie do lektury kolejnych części opracowania poprzedzającego cykl publikacji. W sposób spójny porządkuje podstawowe zagadnienia teoretyczne oraz uzasadnia wybór problematyki badawczej, modelu eksperymentalnego oraz zastosowanej metodologii badań.

Cel pracy, który określa kierunek badań, został jasno sformułowany, a wynikające z niego kolejne hipotezy szczegółowe określające przewidywane wyniki badań są wobec niego adekwatne. Moja uwaga – być może dyskusyjna – dotyczy jedynie braku nadrzędnej hipotezy badawczej, o czym wspomniałam powyżej. W celu weryfikacji kolejnych hipotez Doktorantka zaproponowała właściwe strategie badawcze przechodząc płynnie do rozdziału metodycznego. Na szczególną uwagę zasługuje złożony **warsztat metodyczny** Doktorantki,



która w swoich badaniach wykorzystwała imponujący wachlarz metod histo/cytochemicznych służących identyfikacji i obserwacji składników oraz procesów komórkowych, metody biochemiczne, analizy ilościowe oraz mikroskopowe, w tym mikroskopię konfokalną i transmisyjną mikroskopię elektronową, a także analizę statystyczną uzyskanych wyników badań. Ta część dysertacji doktorskiej świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Doktorantki do prowadzenia wnikliwych badań w oparciu o adekwatnie dobrane metody badawcze zestawione w Tabeli 2. W szczególności pragnę podkreślić, że wysoko oceniam dobór metodologii badawczej, który w pełni odpowiada przyjętym celom i postawionym hipotezom. Nawet jeśli część zastosowanych metod, zwłaszcza niektóre barwienia cytochemiczne, mogą sprawiać wrażenie technicznie prostych, w praktyce ich prawidłowe wykonanie oraz uzyskanie wiarygodnych i powtarzalnych wyników wymaga dużego doświadczenia i staranności. Na uwagę zasługuje również fakt, że Doktorantka nie uległa pokusie stosowania zaawansowanych metod biologii molekularnej wyłącznie w celu poszerzenia warsztatu badawczego lub zwiększenia atrakcyjności metodologicznej rozprawy doktorskiej. Przeciwnie, najpierw precyzyjnie określiła cel badań i sformułowała hipotezy badawcze, a następnie konsekwentnie dobrała metody adekwatne do ich weryfikacji. Takie podejście świadczy o umiejętności krytycznego doboru narzędzi badawczych do rozwiązywanego problemu naukowego. Jestem przekonana, że w dalszym rozwoju naukowym Doktorantka będzie z powodzeniem wykorzystywać również bardziej zaawansowane techniki biologii molekularnej. Już na obecnym etapie wykazała się jednak dużą dojrzałością badawczą oraz właściwym rozumieniem zasad planowania i realizacji badań naukowych.

Wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane w renomowanych czasopiśmie naukowych, są rzetelnie udokumentowane oraz poddane wnikliwej i dojrzałej **dyskusji**. Doktorantka umiejętnie konfrontuje rezultaty własnych badań eksperymentalnych z wynikami uzyskanymi przez innych autorów, formułując trafne i w pełni uzasadnione wnioski. Syntetycznie przedstawiła tę część rozprawy doktorskiej w opracowaniu poprzedzającym cykl publikacji, odnosząc uzyskane wyniki badań do postawionych hipotez badawczych. Wnioski końcowe definiują najważniejsze osiągnięcia naukowe Doktorantki:

- spożycie PP przez larwy *G. mellonella* wywołuje zmiany ultrastrukturalne w komórkach wybranych narządów, przejawiające się głównie wzrostem liczby struktur autofagicznych;
- spożycie PP aktywuje komórkowe mechanizmy detoksykacyjne, czego przejawem jest nasilenie procesu autofagii, wzrost liczby dużych pęcherzyków oraz zwiększenie poziomu zredukowanego glutationu, uczestniczącego w neutralizacji reaktywnych form tlenu;
- jelito środkowe ulega najbardziej nasilonym zmianom cytotoksycznym; w obrębie jego nabłonka stwierdzono istotny wzrost liczby struktur autofagicznych oraz nasilenie sygnału emitowanego przez tzw. kwaśne organelle;
- spożycie PP prowadzi do zmian w aktywności mitochondriów, poziomu ATP oraz ilości reaktywnych form tlenu w komórkach jelita środkowego i ciała tłuszczowego;
- konsumpcja PP nasila proces apoptozy, co wskazuje na aktywację mechanizmów programowanej śmierci komórki; jednocześnie zwiększona ekspresja białka Bcl-2, będącego regulatorem szlaków apoptotycznych, hamuje aktywację kaskady kaspaz, umożliwiając eliminację uszkodzonych komórek bez wystąpienia zmian nekrotycznych;



- spożycie PP wpływa na przebieg cyklu komórkowego w komórkach jelita środkowego i ciała tłuszczowego, czego nie wykazano w gruczole przednim;
- w odpowiedzi na cytotoksyczne działanie PP w komórkach badanych narządów dochodzi do aktywacji odmiennych mechanizmów obronnych, których celem jest ograniczenie uszkodzeń komórkowych i utrzymanie homeostazy tkankowej.

Na podstawie uzyskanych wyników badań Doktorantka proponowała model mechanizmów obronnych uruchamianych w różnych narządach larw *G. mellonella* w odpowiedzi na spożycie PP. W jelicie środkowym, będącym narządem pierwszego kontaktu z PP, uszkodzenia komórkowe są ograniczane poprzez nasilenie autofagii oraz zwiększenie syntezy DNA w komórkach nabłonka, co wskazuje na aktywację procesów regeneracyjnych. Obecność PP w diecie prowadzi ponadto do wzrostu poziomu reaktywnych form tlenu, depolaryzacji mitochondriów oraz nasilenia sygnałów apoptotycznych. Jednocześnie zwiększona ekspresja białka Bcl-2 hamuje aktywację szlaków prowadzących do nekrozy, natomiast wzrost poziomu przeciwutleniaczy sprzyja neutralizacji reaktywnych form tlenu. Zachowanie stabilnego poziomu ATP świadczy o zdolności komórek do pokrycia zwiększonego zapotrzebowania energetycznego związanego z uruchomieniem procesów naprawczych i regeneracyjnych. Dodatkowo organizm reaguje nasileniem proliferacji komórek, umożliwiając zastępowanie komórek uszkodzonych nowymi.

Odmienna strategia odpowiedzi na działanie PP została wykazana w ciele tłuszczowym, będącym głównym ośrodkiem metabolizmu energetycznego i detoksykacji. W tkance tej odnotowano wyraźny spadek syntezy ATP, a także – w przeciwieństwie do jelita środkowego – brak wzrostu odsetka komórek w fazie S, przy jednoczesnym zwiększeniu liczby komórek w fazie G2/M. Zatrzymanie cyklu komórkowego na tym etapie może stanowić mechanizm ochronny zapobiegający replikacji uszkodzonego materiału genetycznego. Uzyskane wyniki wskazują, że jelito środkowe wykazuje większy potencjał regeneracyjny, natomiast ciało tłuszczowe uruchamia mechanizmy sprzyjające utrzymaniu integralności genomu i ograniczeniu proliferacji komórek z uszkodzonym DNA.

Gruczoł przedni, który nie uczestniczy bezpośrednio w procesach trawienia i detoksykacji, nie wykazywał istotnych zmian na poziomie komórkowym związanych ze spożyciem PP. Wyniki uzyskane przez Doktorantkę potwierdzają tym samym jedną z hipotez badawczych, zgodnie z którą poszczególne narządy larw *G. mellonella* uruchamiają odmienne mechanizmy ochronne w odpowiedzi na cytotoksyczne działanie PP. Wykazane zdolności regeneracyjne jelita środkowego oraz efektywność mechanizmów obronnych ciała tłuszczowego świadczą o wysokiej adaptacyjności fizjologicznej larw *G. mellonella*. Wyniki badań uzyskane w toku realizacji pracy doktorskiej stanowią zatem cenny wkład w poznanie mechanizmów odpowiedzi larw owadów na spożycie PP oraz uzasadniają prowadzenie dalszych badań nad potencjalnym wykorzystaniem *G. mellonella* w biologicznych metodach degradacji odpadów z tworzyw sztucznych.

Na koniec dwie drobne uwagi o charakterze terminologicznym i redakcyjnym. Po pierwsze, nie akceptuję terminów „wakuola” czy „wakuolizacja” w odniesieniu do komórek zwierzęcych. Wakuola jest organelą typową dla komórek roślinnych otoczoną tonoplastem i

nie występuje w komórkach zwierzęcych. Mam świadomość, że termin ten funkcjonuje w literaturze anglojęzycznej, jednak byłabym wdzięczna, gdyby Doktorantka wyjaśniła, jakie struktury komórkowe identyfikowała jako „wakuole” w komórkach larw *G. mellonella*. Druga uwaga dotyczy stosowania skrótów, które od momentu pierwszego użycia w tekście powinny być konsekwentnie stosowane. Pragnę zdecydowanie podkreślić, że wszystkie przedstawione przeze mnie uwagi i sugestie wynikają nie tyle z przywileju, ile z obowiązku recenzentki. Nie mają one wpływu na moją bardzo wysoką ocenę rozprawy doktorskiej. O jej istotnej wartości naukowej świadczą przede wszystkim trafny wybór niezwykle aktualnej problematyki badawczej, umiejętne wykorzystanie metod eksperymentalnych oraz kompetentna interpretacja oryginalnych i rzetelnie udokumentowanych wyników badań, które zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych.

Wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr Patrycji Mermer ma wysoką wartość poznawczą i stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w zakresie podjętej problematyki badawczej. Cykl publikacji stanowiących podstawę rozprawy jest spójny tematycznie z wyraźnie postawionym celem badań i właściwie weryfikowanymi hipotezami. Obszerny materiał doświadczalny, adekwatnie dobrany warsztat metodyczny oraz oryginalne wyniki badań świadczą o bardzo dobrym przygotowaniu Doktorantki do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Potwierdzają również Jej umiejętność trafnego sformułowania problemu badawczego i skutecznego jego rozwiązania, a także dobrą znajomość literatury przedmiotu oraz zdolność do krytycznej analizy i dyskusji uzyskanych wyników badań na tle aktualnego stanu wiedzy.

W świetle przedstawionej oceny nie mam wątpliwości, że rozprawa doktorska Pani mgr Patrycji Mermer pt. „Analiza wpływu diety z polipropylenem na strukturę komórek wybranych narządów larw *Galleria mellonella* (Insecta, Lepidoptera, Pyralidae) ze szczególnym uwzględnieniem procesów śmierci komórkowej” spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 18 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571) stawiane rozprawom doktorskim. **W związku z powyższym zwracam się do Rady Naukowej Instytutu Biologii, Biotechnologii i Ochrony Środowiska Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach z wnioskiem o dopuszczenie Pani mgr Patrycji Mermer do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia naukowego doktora w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki biologiczne.**

Jednocześnie, mając na uwadze wysoki poziom merytoryczny rozprawy doktorskiej, oryginalność uzyskanych wyników oraz ich znaczenie poznawcze, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej.

Toruń, 27 lipca 2026 r.

Z poważaniem

