

Prof. dr hab. n. farm. inż. Małgorzata Grembecka
Katedra i Zakład Bromatologii
Wydział Farmaceutyczny
Gdański Uniwersytet Medyczny
80-416 Gdańsk
Al. Gen. J. Hallera 107

Gdańsk, dn. 30.12.2025 r.

Recenzja

pracy doktorskiej Pana mgr inż. Antoniego Taraszkiewicza pt.: „Charakterystyka bioaktywnych peptydów z keratyny z piór

drobiowych oraz produktów ich przemian zachodzących w trakcie reakcji Maillarda”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana w Katedrze Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej pod kierunkiem Pani dr hab. Hanny Staroszczyk, profesor uczelni.

Bioaktywne peptydy są obecnie jednym z ważniejszych obszarów badań w naukach chemicznych. Zainteresowanie tymi związkami wynika z ich potencjalnych właściwości biologicznych, takich jak działanie przeciwnadciśnieniowe, przeciwcukrzycowe, antyoksydacyjne czy neuroprotektoryjne. Peptydy te powstają w wyniku enzymatycznego lub chemicznego rozkładu białek i coraz częściej rozpatrywane są jako składniki żywności funkcjonalnej oraz preparatów o możliwym znaczeniu prozdrowotnym. W związku z tym istotnym kierunkiem badań jest poszukiwanie nowych, alternatywnych źródeł surowców białkowych.

Jednym z potencjalnych źródeł takich surowców jest keratyna, będąca głównym składnikiem piór drobiowych. Białko to charakteryzuje się wysoką zawartością aminokwasów siarkowych oraz dużą odpornością strukturalną. Pióra drobiowe powstają w znacznych ilościach jako produkt uboczny przemysłu drobiarskiego i nadal stanowią problem zarówno technologiczny, jak i środowiskowy. Ich wykorzystanie do otrzymywania bioaktywnych peptydów może stanowić wartościowe rozwiązanie, zgodne z założeniami racjonalnego gospodarowania odpadami oraz ideą gospodarki o obiegu zamkniętym.

Istotnym zagadnieniem związanym z otrzymywaniem peptydów z białek jest również wpływ dalszych przemian chemicznych na ich właściwości biologiczne. Jednym z procesów, który może prowadzić do zmian struktury peptydów, jest reakcja Maillarda, powszechnie zachodząca podczas przetwarzania żywności. Modyfikacje te mogą w istotny sposób wpływać na aktywność biologiczną peptydów oraz ich biodostępność.

Z tego względu kompleksowa charakterystyka peptydów keratynowych oraz produktów ich przemian stanowi uzasadniony i aktualny przedmiot badań, mający szczególne znaczenie w

odniesieniu do procesów technologicznych, w których dochodzi do oddziaływania białek z węglowodanami. Analiza tych zagadnień pozwala na lepsze zrozumienie wpływu przemian chemicznych na właściwości peptydów, co potwierdza zasadność podjętej problematyki badawczej. W związku z tym należy uznać, że tematyka rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Antoniego Taraszkiewicza została trafnie dobrana i ma istotne znaczenie zarówno z punktu widzenia badań podstawowych, jak i potencjalnych zastosowań praktycznych.

Rozprawa doktorska opiera się na pięciu powiązanych tematycznie publikacjach naukowych, które ukazały się w latach 2022–2025 w renomowanych, recenzowanych czasopismach anglojęzycznych, m.in. *Current Pharmaceutical Design*, *Food Chemistry* oraz *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. Jedna z prac zgłoszonych w ramach doktoratu jest obecnie w trakcie recenzji. W dokumentacji przewodu doktorskiego uwzględniono w związku z tym manuskrypt udostępniony w repozytorium SSRN, który umożliwia szybkie upowszechnienie wyników badań będących na wczesnym etapie publikacji. Łączny wskaźnik Impact Factor wszystkich publikacji wchodzących w skład rozprawy wynosi 31,5, a suma punktów według klasyfikacji MNiSW osiąga 670.

Warto podkreślić, że wszystkie publikacje wchodzące w skład rozprawy doktorskiej zostały opublikowane w czasopismach indeksowanych w bazie *Journal Citation Reports*, z czego trzy zaliczają się do pierwszego kwartyłu (Q1), co świadczy o ich wysokim poziomie naukowym i znaczeniu dla rozwoju dyscypliny. Analiza wkładu Autora w poszczególne prace pokazuje, że w pierwszej i czwartej publikacji jego udział wynosił 50%, w drugiej pracy - 44%, w trzeciej, obecnie będącej w recenzji, 15% (trzeci autor), natomiast w przeglądowej publikacji w *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* udział Autora oszacowano na 70%. Należy przy tym zaznaczyć, że mimo braku podpisu jednej ze współauterek pod oświadczeniami dołączonymi do rozprawy, treść deklaracji zawartych w publikacjach jednoznacznie potwierdza wiodącą rolę mgr inż. A. Taraszkiewicza w realizacji przedstawionych badań.

W szczególności warto zaznaczyć, że badania realizowane w ramach rozprawy doktorskiej były prowadzone w ramach projektu „Characterization of bioactive peptides from chicken feather keratin and products of their transformations occurring during the Maillard reaction” (nr DEC-2021/41/N/NZ9/04466), finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w programie Preludium 20 w okresie 03.01.2022–02.01.2026, przy udziale Doktoranta jako głównego wykonawcy.

Doktorant zdobył również doświadczenie na międzynarodowych stażach naukowych w *Food Bioavailability Laboratory, Department of Food Biosciences, Teagasc Food Research Centre, Moorepark, Ireland* - pierwszy w ramach programu „STER - Internationalisation of Doctoral Schools” (31.07.2023-31.10.2023), drugi w ramach programu Erasmus+ (05.09.2022-

19.12.2022), pod kierunkiem dr Lindy Giblin. Staże te umożliwiły bezpośrednią współpracę z zagranicznymi ośrodkami badawczymi oraz poszerzenie praktycznych umiejętności w zakresie prowadzonych badań.

Rozprawa doktorska została w całości przygotowana w języku angielskim i obejmuje szczegółową część opisową liczącą 67 stron, stanowiącą kompleksowe przedstawienie przeprowadzonych badań. Rozpoczyna się ona od wprowadzenia, w którym przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat bioaktywnych peptydów i keratyn, ich właściwości oraz znaczenie w kontekście procesów chemicznych i technologicznych, w tym reakcji Maillarda. Następnie określono cele pracy, sformułowano hipotezy badawcze oraz przedstawiono zakres i zadania badawcze. Część opisowa zawiera również szczegółową analizę wyników, wnioski oraz streszczenia w języku polskim i angielskim, a także wykaz skrótów, liczne tabele i ryciny oraz obszernie piśmiennictwo obejmujące 134 pozycje. Tak szerokie ujęcie literatury pozwala umiejscowić prowadzone badania w kontekście aktualnych osiągnięć naukowych i świadczy o solidnym przygotowaniu Autora. Po części opisowej zamieszczono publikacje wchodzące w skład rozprawy, dokumentujące wyniki badań eksperymentalnych, a także zestawienie dorobku naukowego Doktoranta. Całość pracy została opracowana w sposób przejrzysty, spójny i logiczny, co ułatwia śledzenie przebiegu badań, interpretację wyników oraz ocenę wkładu Autora w rozwój dyscypliny nauk chemicznych.

Celem rozprawy doktorskiej była ocena możliwości wykorzystania keratyny pochodzącej z piór kurzych jako substratu do wytwarzania bioaktywnych peptydów oraz produktów reakcji Maillarda, przy zastosowaniu hybrydowego podejścia łączącego analizy *in silico* z badaniami *in vitro*. Praca skupia się na właściwościach biologicznych i funkcjonalnych tych preparatów, a także na ich stabilności i aktywności po symulowanym trawieniu żołądkowo-jelitowym, z uwzględnieniem potencjalnego zastosowania jako składników żywności funkcjonalnej. Sformułowane hipotezy obejmowały m.in. skuteczność metod predykcyjnych, możliwość uzyskania peptydów o pożądanych właściwościach bioaktywnych dzięki kontrolowanej redukcji i enzymatycznej hydrolizie oraz poprawę aktywności antyoksydacyjnej poprzez reakcję Maillarda. Cel badawczy został jasno określony, a zastosowane materiały i metody charakteryzują się wysokim poziomem merytorycznym, nie budząc zastrzeżeń.

Pierwsza publikacja w ramach cyklu, zamieszczona w czasopiśmie *Current Pharmaceutical Design*, dotyczyła przewidywania peptydów bioaktywnych pochodzących z keratyny piór kurzych i szczerbiny świń przy użyciu komputerowej analizy sekwencji białkowej z uwzględnieniem fragmentów biologicznie aktywnych. Badania wykazały, że sekwencje keratyny obu surowców zawierają liczne fragmenty peptydów wykazujące zdolność hamowania enzymu konwertującego angiotensynę (ACE), dipeptydylopeptydazy 4 (DPP-IV) oraz oligopeptydazy prolinowej (POP). Ocena teoretycznych hydrolizatów keratyny przy zastosowaniu pięciu konwencjonalnych enzymów proteolitycznych pozwoliła wskazać te

najbardziej predysponowane do wytwarzania krótkich peptydów o wysokim potencjale biologicznym i niskim ryzyku toksyczności. Analiza fragmentów wykazała, że keratyna może stanowić źródło peptydów wielofunkcyjnych, zdolnych do modulowania kilku procesów fizjologicznych jednocześnie. W oparciu o te wyniki dalsze badania eksperymentalne w pracy doktorskiej skoncentrowano na keratynie piór kurzych, ze względu na jej większą dostępność oraz znaczenie w kontekście zagospodarowania odpadów.

Druga publikacja w cyklu koncentruje się na składzie chemicznym oraz właściwościach funkcjonalnych keratyny pozyskanej z piór kurzych oraz jej enzymatycznych hydrolizatów. Pierwszym celem badań było określenie warunków, w których L-cysteina (L-Cys) działa najlepiej jako czynnik redukujący. Dzięki temu możliwy był maksymalny odzysk keratyny przy zachowaniu jej rozpuszczalności w wodzie, integralności wiązań peptydowych oraz jakości aminokwasów. Otrzymany ekstrakt miał pełnić funkcję samodzielnego białka, a także substratu do enzymatycznego uwalniania peptydów o potencjalnej aktywności biologicznej. W dalszej części pracy ekstrakt poddano hydrolizie enzymatycznej przy użyciu trypsyny, chymotrypsyny, pepsyny i subtilizyny. Celem było zweryfikowanie przewidywań uzyskanych z analiz *in silico*. Wyniki pokazały, że skuteczność hydrolizy zależała od rodzaju enzymu oraz stopnia rozkładu peptydów. Hydrolizaty o niskiej masie cząsteczkowej charakteryzowały się wysoką rozpuszczalnością i zachowały potencjał bioaktywny. Ocena właściwości funkcjonalnych wykazała, że enzymatyczna hydroliza osłabiała zdolność żelowania, pienienia i wiązania tłuszczu. Jednocześnie pozostawiała umiarkowanie stabilne właściwości emulgujące. Profil aminokwasowy ekstraktu wskazywał na wysoki udział cysteiny, proliny i reszt hydrofobowych, sprzyjających powstawaniu bioaktywnych peptydów. Zauważono jednak niedobór niektórych aminokwasów egzogennych. Wyniki badań podkreślają, że staranna optymalizacja warunków ekstrakcji i hydrolizy jest kluczowa. Dzięki niej można uzyskać wysokiej jakości keratynę i jej hydrolizaty, które stanowią cenne źródło bioaktywnych peptydów z potencjalnym zastosowaniem w żywności funkcjonalnej.

Trzecia publikacja analizuje wpływ ekstrakcji z użyciem L-cys oraz późniejszej hydrolizy enzymatycznej na strukturę chemiczną, strukturę przestrzenną i właściwości termiczne keratyny pozyskanej z piór kurzych. Wyniki badań wykazały, że proces ekstrakcji prowadzi do częściowego rozluźnienia struktury białka. Obserwowano także zmniejszenie stopnia krystaliczności oraz nieznaczną redukcję zawartości α -helis, przy jednoczesnym zachowaniu integralności łańcucha peptydowego. Hydroliza enzymatyczna wpływała na dalsze modyfikacje struktury keratyny, przy czym efekt zależał od zastosowanego enzymu. Subtilizyna powodowała największe zmiany w strukturze drugorzędowej i stabilności termicznej. Natomiast trypsyna, chymotrypsyna i pepsyna wywoływały jedynie niewielkie modyfikacje. Podsumowując, wyniki potwierdzają skuteczność strategii dwustopniowej, obejmującej redukcję i hydrolizę, w kontrolowanym uwalnianiu peptydów z keratyny.

Jednocześnie wskazuje na istotne różnice w działaniu poszczególnych enzymów. Uzyskane wnioski mają duże znaczenie dla planowania dalszych badań nad bioaktywnymi peptydami oraz ich właściwościami funkcjonalnymi.

Czwarta publikacja poświęcona jest ocenie aktywności antyoksydacyjnej oraz bezpieczeństwa żywieniowego keratyny izolowanej z piór kurzych, jej enzymatycznych hydrolizatów oraz produktów powstałych w wyniku reakcji Maillarda i symulowanego trawienia żołądkowo-jelitowego. W badaniach wykorzystano zestaw komplementarnych testów antyoksydacyjnych. Wyniki pokazały, że enzymatyczna hydroliza zwiększa całkowitą aktywność przeciwutleniającą. Najwyższe wartości odnotowano po zastosowaniu subtilizyny. W tym przypadku największy udział w aktywności miały peptydy o niskiej masie cząsteczkowej. Produkty reakcji Maillarda, uzyskane przy udziale glukozy lub ksylozy, zachowały rozpuszczalność w wodzie. Wykazały także zmienioną zdolność do wychwytywania rodników i redukcji związków utleniających. Wybrane próbki poddano symulowanemu trawieniu żołądkowo-jelitowemu, co pozwoliło ocenić ich strawność, stabilność funkcjonalną oraz bezpieczeństwo żywieniowe w warunkach zbliżonych do fizjologicznych. Wszystkie preparaty były dobrze przyswajalne, a ich działanie przeciwutleniające utrzymywało się po trawieniu. Dodatkowo nie stwierdzono cytotoksyczności, co potwierdza, że keratyna z piór kurzych, jej hydrolizaty oraz produkty reakcji Maillarda mogą stanowić bezpieczne źródło bioaktywnych peptydów z potencjalnym zastosowaniem w żywności funkcjonalnej.

Piąta z prac w cyklu miała charakter przeglądowy i była poświęcona roli POP, enzymu uczestniczącego w licznych procesach fizjologicznych i patologicznych, w tym w rozwoju chorób neurodegeneracyjnych i neuropsychiatrycznych. Omówiono potencjalne działanie peptydowych inhibitorów POP pochodzących z produktów spożywczych, takich jak mleko, mięso, ryby czy rośliny, które mogą wykazywać właściwości wspierające funkcje poznawcze i neuroprotektoryjne. Analiza wykazała, że keratyna z piór kurzych może być źródłem takich inhibitorów dzięki wysokiej zawartości reszt prolinowych i aminokwasów hydrofobowych, a przewidywania *in silico* oraz dane z badań eksperymentalnych potwierdziły obecność fragmentów peptydowych o potencjale hamującym POP.

Rozprawa doktorska jest zwięzła i przejrzysta, a nieliczne drobne uchybienia redakcyjne nie wpływają na jej wysoką wartość naukową. Należy podkreślić innowacyjny charakter przeprowadzonych badań oraz ich znaczący potencjał do rozwoju nowych kierunków badawczych w zakresie nauk ścisłych i przyrodniczych. Głównym osiągnięciem pracy jest opracowanie skutecznej strategii przekształcania keratyny z piór kurzych w funkcjonalne peptydy i produkty reakcji Maillarda o aktywności antyoksydacyjnej, przy zachowaniu integralności chemicznej i niskiej toksyczności preparatów. Wyniki badań wykazały możliwość kontrolowania bioaktywnych i funkcjonalnych właściwości keratyny poprzez

optymalizację redukcji L-cysteiną, enzymatycznej hydrolizy oraz warunków reakcji Maillarda. Jednocześnie potwierdziły stabilność i aktywność uzyskanych preparatów po symulowanym trawieniu żołądkowo-jelitowym, co stanowi istotny krok w kierunku ich zastosowania w żywności funkcjonalnej.

Pracę doktorską oceniam bardzo wysoko. Jest ona merytorycznie poprawna, spójna i wnosi istotny wkład naukowy w dziedzinę nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne. Biorąc pod uwagę fakt, że przedstawione wyniki zostały już opublikowane, co wiązało się z koniecznością uzyskania pozytywnych opinii recenzentów, chciałabym jedynie zadać kilka pytań uzupełniających:

1. Czy przewidziano możliwość zastosowania innych enzymów lub ich kombinacji w celu zwiększenia uwalniania bioaktywnych peptydów z keratyny?
2. Jakie ograniczenia żywieniowe lub technologiczne mogą wynikać z niskiego udziału niektórych aminokwasów egzogennych w otrzymanym ekstrakcie?
3. Czy zastosowanie innych cukrów w reakcji Maillarda mogłoby prowadzić do powstania produktów o wyższej aktywności antyoksydacyjnej przy zachowaniu bezpieczeństwa biologicznego?
4. Jakie są perspektywy skalowania opisanych metod do poziomu przemysłowego, w szczególności pod kątem odzysku białka, kontroli jakości peptydów i minimalizacji kosztów produkcji?

Oprócz przedstawionej do oceny dysertacji, należy także docenić naukową aktywność Doktoranta. Jest on współautorem sześciu publikacji o łącznym wskaźniku Impact Factor 37,3, co odpowiada 810 punktom MNiSW. Ponadto aktywnie uczestniczył w realizacji projektów krajowych i międzynarodowych, a jego dorobek został wielokrotnie doceniony poprzez przyznanie nagród i stypendiów naukowych. Oprócz osiągnięć badawczych, Doktorant wyróżnia się również działalnością dydaktyczną i organizacyjną. Prowadził i współprowadził prace dyplomowe studentów studiów inżynierskich i magisterskich, a także uczestniczył w popularyzacji nauki poprzez prezentacje na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Ponadto aktywnie angażował się w organizację wydarzeń naukowych. Łącznie jego osiągnięcia wskazują na wysoki poziom samodzielności badawczej, zaangażowania i wkładu w rozwój nauk ścisłych i przyrodniczych.

Podsumowując, dysertacja Pana mgr inż. Antoniego Taraszkiewicza zasługuje na bardzo wysoką ocenę ze względu na istotny wkład poznawczy i praktyczny przedstawionych badań. Praca doktorska stanowi przykład oryginalnego i starannie zaplanowanego projektu badawczego, wnoszącego istotny wkład w rozwój nauk ścisłych i przyrodniczych, w dyscyplinie nauki chemiczne. Doktorant wykazał się wszechstronną wiedzą teoretyczną, znaczącymi kompetencjami w zakresie samodzielnego prowadzenia badań, a także

umiejętnością rzetelnej interpretacji i krytycznej analizy uzyskanych wyników. Na szczególne uznanie zasługują rozwinięte zdolności analityczne, rzetelność w realizacji eksperymentów oraz zdolność formułowania wniosków opartych na uzyskanych wynikach badań naukowych. Praca doktorska cechuje się dużą przejrzystością oraz starannym połączeniem badań eksperymentalnych z analizą literatury. Ponadto Doktorant wykazał zaangażowanie w działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną, co dodatkowo podkreśla kompleksowy charakter jego osiągnięć.

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska Pana mgr inż. Antoniego Taraszkiewicza pt.: „Charakterystyka bioaktywnych peptydów z keratyny z piór drobiowych oraz produktów ich przemian zachodzących w trakcie reakcji Maillarda” w pełni spełnia wymagania ustawowe stawiane pracom doktorskim w świetle art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742). **Wobec tego mam zaszczyt przedstawić Wysokiej Radzie Dyscypliny Nauki Chemiczne Politechniki Gdańskiej wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Antoniego Taraszkiewicza do dalszych etapów postępowania doktorskiego.**

Niniejsza dysertacja wyróżnia się nowatorskim podejściem do zagospodarowania keratyny z piór kurzych, łącząc sekwencyjną redukcję L-cysteiną, enzymatyczną hydrolizę oraz reakcję Maillarda w celu uzyskania bioaktywnych peptydów i produktów o wysokiej aktywności antyoksydacyjnej. Praca prezentuje kompleksowe badania właściwości strukturalnych, fizykochemicznych i biologicznych otrzymanych preparatów, co pozwoliło na uzyskanie wniosków o dużym znaczeniu poznawczym i praktycznym. Zastosowane rozwiązania oferują produkty o lepszych właściwościach funkcjonalnych oraz bezpieczeństwie biologicznym. Oprócz wartości naukowej, rozprawa posiada wyraźny potencjał wdrożeniowy. Opracowane procedury mogą zostać skalowane do produkcji przemysłowej, umożliwiając efektywne odzyskiwanie keratyny, kontrolę jakości otrzymywanych peptydów i minimalizację kosztów. Samodzielność badawcza, precyzyjne projektowanie eksperymentów oraz umiejętność analitycznej interpretacji danych potwierdzają wysoki poziom kompetencji Doktoranta, a **nowatorskie i praktycznie użyteczne rozwiązania uzasadniają rekomendację wyróżnienia pracy.** Dodatkowo, znaczący dorobek naukowy Doktoranta, potwierdzony wysokim łącznym współczynnikiem oddziaływania publikacji, aktywność badawcza, udział w projektach krajowych i międzynarodowych oraz doświadczenie dydaktyczne świadczą o jego rozwiniętych kompetencjach i samodzielności naukowej. Uwzględniając powyższe aspekty, w tym znaczenie podejmowanej problematyki, innowacyjność pracy oraz praktyczny potencjał wdrożeniowy, **wnoszę o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.**