



Politechnika Łódzka

Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii

Łódź, 02.12.2025

dr hab. inż. Anna Diowks, prof. uczelni

Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności
Politechnika Łódzka

O C E N A

pracy doktorskiej mgr inż. Pauliny Ewy Łysakowskiej pt. „Wpływ częściowej substytucji mąki pszennej sproszkowanymi owocnikami wybranych grzybów leczniczych na cechy technologiczne, właściwości fizykochemiczne, potencjał antyoksydacyjny i jakość sensoryczną pieczywa pszennego” wykonanej pod kierunkiem dr hab. Aldony Soboty, prof. uczelni w Katedrze Inżynierii i Technologii Zbóż, Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

Podstawa prawna i formalna

Recenzja została wykonana zgodnie z wymaganiami określonymi w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.). Podstawą sporządzenia recenzji było pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywnienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, prof. dr hab. Waldemara Gustawa z dnia 09.10.2025 r. informujące o uchwale Rady Dyscypliny TŻiŻ UP w Lublinie podjętej na posiedzeniu w dniu 08.10.2025 r.

Uzasadnienie podjęcia tematu

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Ewy Łysakowskiej podejmuje tematykę wzbogacania pieczywa w związki bioaktywne pochodzenia grzybowego, ukierunkowanego na uzyskanie wysokiej jakości produktu o walorach żywności funkcjonalnej.

Wraz ze wzrostem świadomości żywieniowej konsumentów wzrasta ich zainteresowanie produktami spożywczymi, które oprócz zaspokojenia głodu, spełniają dodatkowe funkcje fizjologiczno-żywieniowe, wpływając na poprawę stanu zdrowia lub

Instytut Technologii Fermentacji i Mikrobiologii
90-530 Łódź ul. Wólczańska 171/173, budynek A4
tel. 42 631-34-79, w5i53@adm.p.lodz.pl
www.binoz.p.lodz.pl
Adres do korespondencji:
90-924 Łódź ul. Żeromskiego 116



zmniejszając ryzyko wystąpienia chorób. Żywność o takich walorach można otrzymać przez wzbogacenie produktów spożywczych w substancje biologicznie aktywne, sprzyjające zdrowiu człowieka. W ostatnim czasie w tym kontekście dużą uwagę skupiają grzyby lecznicze stosowane od tysiącleci w tradycyjnej medycynie Dalekiego Wschodu. Cechują się one naturalnym bogactwem związków o potencjalnie terapeutycznym oddziaływaniu na układ odpornościowy, nerwowy, sercowo-naczyniowy i metaboliczny.

Pieczywo, stanowiące szeroko dostępny, spożywany codziennie i stosunkowo tani produkt, wydaje się być idealnym nośnikiem służącym do wzbogacania diety w składniki funkcjonalne. Należy jednak wziąć pod uwagę, że każda reformulacja z udziałem surowca niezawierającego glutenu może niekorzystnie wpłynąć na właściwości reologiczne ciasta i jakość powstałego chleba. Osłabienie siatki glutenowej może mieć zauważalny wpływ zwłaszcza na strukturę miększu i objętość wyrobu. Odrębną kwestią, o kluczowej roli w akceptowalności fortifikowanego produktu, jest potencjalny wpływ zastosowanego dodatku na ocenę organoleptyczną pieczywa.

Koncepcja przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej wpisuje się w niezwykle aktualny nurt poprawy jakości życia społeczeństwa poprzez ofertę żywności o sprzyjających zdrowiu cechach. Wybór tematu badawczego świadczy o dobrym zorientowaniu Doktorantki w wiodących trendach w obszarze technologii żywności i żywienia. Jednocześnie światowe dane literaturowe dotyczące wzbogacania pieczywa w preparaty pozyskiwane z owocników grzybów leczniczych są bardzo skąpe, stąd istnieje potrzeba poszerzenia wiedzy w przedmiotowej tematyce.

Reasumując, tematyka pracy wpisuje się w nurt aktualnych badań z zakresu nauk o żywności i żywienia, stanowi uzupełnienie wiedzy w tym zakresie, a wyniki podjętych badań mogą potencjalnie znaleźć zastosowanie praktyczne w aplikacjach piekarskich.

Ocena formalna pracy

Oceniana rozprawa doktorska została przedstawiona jako cykl powiązanych tematycznie publikacji. Cykl ten składa się z jednej publikacji przeglądowej i trzech publikacji oryginalnych opublikowanych w czasopismach ujętych w wykazie punktowanych czasopism MNiSW z listy JCR. Doktorantka zadbała o zróżnicowanie miejsca ich publikacji, dwa artykuły ukazały się w czasopismach wydawnictwa MDPI, dwa pozostałe w tytułach wydawanych pod auspicjami Polskiej Akademii Nauk. Ich łączny Impact Factor wynosi 13,3 i stanowią one 440 punktów według listy MNiSW. Ponadto do rozprawy włączono niepublikowane jeszcze wyniki badań. Zbiór publikacji został poprzedzony streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz komentarzem, na który składają się rozdziały: *Wprowadzenie teoretyczne, Hipoteza i cel badań, Materiały i metody, Omówienie wyników i dyskusja* (w czterech następujących po sobie podrozdziałach obejmujących wyniki prezentowane w artykułach oryginalnych oraz niepublikowane badania własne włączone do rozprawy, wraz z odnośnymi

Podsumowaniami), *Wnioski*, *Bibliografia*. Załączono kopie artykułów wchodzących w skład rozprawy i oświadczenia współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie publikacji oraz aneks przedstawiający życiorys naukowy Doktorantki.

Wszystkie pozycje stanowiące cykl to publikacje wieloautorskie, gdzie Doktorantka jest pierwszym autorem, a w swoich oświadczeniach wykazała swój znaczący wkład w powstanie każdej z prac włączonych do rozprawy, co znajduje potwierdzenie w oświadczeniach współautorów. Była nie tylko inicjatorką badań, ale pozyskała też fundusze na realizację zaproponowanych modeli badawczych, przeprowadziła próby technologiczne i większość analiz laboratoryjnych, opracowała i zinterpretowała wyniki prac eksperymentalnych, przygotowała manuskrypty artykułów oraz uczestniczyła w pełnym procesie recenzyjnym. Ponadto, jak wskazano wcześniej, uzupełnieniem cyklu publikacji są niepublikowane jeszcze wyniki badań własnych Doktorantki. Tym samym wymóg formalny został w pełni spełniony.

Ocena merytoryczna pracy

Komentarz poprzedzający cykl publikacji obejmuje wprowadzenie w badane zagadnienia opracowany na podstawie przeglądu literatury, omówienie i dyskusję wyników zaprezentowanych w załączonych artykułach oryginalnych oraz przedstawienie wyników niepublikowanych jeszcze badań własnych. Bardzo bogata bibliografia recenzowanej rozprawy liczy aż 227 pozycji. Są to artykuły anglojęzyczne, niemal wyłącznie z ostatnich dziesięciu lat.

Pierwsza z publikacji wchodzących w skład cyklu - "Medicinal Mushrooms: Their Bioactive Components, Nutritional Value and Application in Functional Food Production - A Review" została opublikowana w *Molecules* w 2023 roku i jest to artykuł o charakterze przeglądowym. W artykule tym zawarto część informacji wykorzystanych przez Doktorantkę w komentarzu do cyklu publikacji. Stanowi on doskonałe wprowadzenie w tematykę badawczą i jednocześnie uwypukla potencjalne walory proponowanego rozwiązania technologicznego. Za szczególnie ciekawe w tej części rozprawy uważam ujęcie tabelaryczne charakterystyk użytych owocników grzybów leczniczych (Tabela 1) oraz β -glukanów grzybowych i zbożowych umożliwiające analizę porównawczą (Tabela 2), a stanowiące opracowania własne. Mam jednak pytanie, czy wymienianie kapsułek i suplementów wśród zastosowań grzybów leczniczych w żywności funkcjonalnej, jak to ujęto w tabeli 1, nie jest błędem?

Głównym celem badawczym rozprawy wyznaczonym przez Doktorantkę była ocena wpływu częściowej substytucji mąki pszennej sproszkowanymi owocnikami wybranych grzybów leczniczych na właściwości technologiczne, fizykochemiczne, potencjał antyoksydacyjny i jakość sensoryczną pieczywa pszennego.

Uważam, że nie byłoby błędem pokuszenie się o wskazanie szerzej, tak w celu, jak i hipotezie badawczej oraz w tytule pracy, potencjalnych walorów prozdrowotnych tak fortyfikowanego pieczywa. Jak dowodzą sformułowane cele szczegółowe i zakres przeprowadzonych badań, praca obejmowała nie tylko zbadanie aktywności antyoksydacyjnej, ale również m.in. zawartości błonnika pokarmowego z podziałem na frakcje, β -glukanów, makro- i mikroelementów, węglowodanów przyswajalnych oraz ocenę strawności białka i skrobi.

Tę część rozprawy uzupełniają hipotezy badawcze, które powiązano z celami szczegółowymi, etapami realizacji badań, zastosowanymi metodami oraz oczekiwanymi efektami, co Doktorantka przedstawiła w bardzo przejrzysty i łatwy do prześledzenia sposób ujmując je w syntetyczną tabelę (Tabela 3). Zestawienie to unaocznia jednocześnie dobrze przemyślaną koncepcję eksperymentu oraz wielowymiarowość badań i komplementarność przeprowadzonych doświadczeń.

W realizacji postawionych zadań przyjęto trzy modele badawcze różniące się zastosowanym surowcem funkcjonalnym. W badaniach Doktorantka wykorzystywała sproszkowane owocniki reishi (*Ganoderma lucidum*), sopłówki jeżowatej (*Hericium erinaceus*) i maczuźnika chińskiego (*Cordyceps sinensis*). Należy mieć na uwadze, że stosowanie w suplementacji lub produkcji żywności preparatów grzybowych niesie ze sobą ryzyko związane ze zdolnością grzybów do kumulowania metali ciężkich, izotopów promieniotwórczych, czy innych potencjalnie szkodliwych substancji, np. pestycydów. Tu zadbano o bezpieczeństwo użytych preparatów, gdyż wszystkie posiadały certyfikat rolnictwa ekologicznego UE i były przebadane pod kątem zanieczyszczeń chemicznych i biologicznych oraz zawartości metali ciężkich i drobnoustrojów. Doktorantka uzyskała też zgodę Komisji Bioetycznej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie na przeprowadzenie badań sensorycznych.

Jednak tu, w kontekście aktywności biologicznej i bezpieczeństwa stosowania preparatów grzybów leczniczych do fortyfikacji pieczywa, nasuwa się kilka pytań:

- czy znane jest Doktorantce pochodzenie tych owocników: czy były to grzyby pozyskiwane z kontrolowanych upraw, czy też dziko rosnące (zbierane w obszarach poddanych certyfikacji)?
- jaki wpływ na zawartość substancji biologicznie czynnych mają warunki uprawy (czynniki środowiskowe)?
- czy zawartość tych substancji w proszkach z owocników jest standaryzowana (i deklarowana w specyfikacji)?
- czy istnieje ryzyko przedawkowania?
- jakie są przeciwwskazania do stosowania preparatów grzybów leczniczych?
- i wobec powyższych, czy wzbogacanie produktu powszechnego spożycia, jakim jest chleb, w grzyby lecznicze jest bezpieczne z punktu widzenia zdrowia publicznego?

Zakres badań przedstawionych w cyklu publikacji obejmował:

- charakterystykę stosowanych proszków grzybowych, na którą składały się oznaczenia zawartości makro- i mikroelementów, β -glukanów, polifenoli, flawonoidów oraz ocena aktywności antyoksydacyjnej
- badania reologiczne fortyfikowanych ciast przy substytucji mąki pszennej proszkiem grzybowym na poziomie 3, 6, 9 i 12%
- analizę składu pieczywa (w tym oznaczenie zawartości białka, tłuszczu, błonnika, popiołu, składników mineralnych, β -glukanów, polifenoli, flawonoidów i obliczenie zawartości węglowodanów przyswajalnych) oraz ocenę jego potencjału antyoksydacyjnego i wartości energetycznej
- wyznaczenie parametrów technologicznych i fizycznych pieczywa oraz ocenę sensoryczną.

Wyniki tych badań zaprezentowano w trzech publikacjach dedykowanych poszczególnym gatunkom grzybów leczniczych. Pierwsza publikacja oryginalna cyklu – „The Impact of *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst. Supplementation on the Technological, Chemical, and Quality Parameters of Wheat Bread” została opublikowana w *Foods* w 2024 roku. Drugim oryginalnym artykułem przedstawionym w rozprawie jest „Lion’s Mane (*Hericiium erinaceus* (Bull.) Pers.) as a functional component for wheat bread production: influence on physicochemical, antioxidant, and sensory properties”, który ukazał się w *International Agrophysics* w bieżącym roku. Trzecim oryginalnym artykułem cyklu jest „Evaluation of the Physicochemical, Antioxidant and Sensory Properties of Wheat Bread with Partial Substitution of Wheat Flour with *Cordyceps sinensis* Powder” opublikowany tym roku w *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. Wyniki badań prezentowanych w tematycznym cyklu publikacji stanowiącym rozprawę doktorską uzupełnia rozdział poświęcony niepublikowanym wynikom badań własnych. Ta część eksperymentów służyła ocenie strawności białka i skrobi w warunkach *in vitro* oraz wyznaczeniu współczynników rozpuszczalności i wodochłonności próbek pieczywa.

Analiza porównawcza wyników zgromadzonych w wyniku realizacji trzech zaplanowanych modeli badawczych wykazała, że efekt technologiczny, jak i jakościowy wywierany przez substytucję części mąki pszennej wybranymi proszkami grzybowymi jest silnie uzależniony od specyfiki gatunkowej zastosowanego grzyba leczniczego, co otwiera ogromny obszar eksploracyjny wobec wielości gatunków grzybów.

Pomimo, iż trzykrotnie powtórzono ten sam plan badawczy zmieniając w kolejnych modelach jedynie rodzaj zastosowanego surowca funkcjonalnego, a uzyskane dla poszczególnych gatunków grzybów wyniki choć wykazywały pewne różnice, ale cechowały podobne tendencje, to przy omawianiu wyników Doktorantka nie uległa pokusie powtórzeń, zastosowania uproszczeń i spłylenia dyskusji. Narracja jest urozmaicona, poprowadzona w ciekawy sposób, a tekst „dobrze się czyta”.

W odniesieniu do prezentowanych w rozprawie wyników badań i ich interpretacji nasuwają się pewne pytania:

- czy obserwowane zmniejszenie objętości pieczywa fortyfikowanego dodatkiem owocnika grzyba rzeczywiście wynika z ograniczenia zdolności ciasta do zatrzymywania gazów fermentacyjnych (jak zasugerowano na str. 59) lub zmniejszenia intensywności procesów fermentacyjnych (str. 60), czy może raczej odnotowane nadmierne usztywnienie ciasta (str. 59) powodowało zwiększony opór i ograniczenie rozciągliwości ciasta, co uniemożliwiało swobodne rozprężanie pęcherzyków zatrzymanych w cieście gazów i w efekcie powodowało także wzrost twardości mięksizu?
- czy w kontekście ograniczonej biodostępności białka, wynikającej z obecności w owocnikach grzybów inhibitorów proteaz, Doktorantka oprócz wymienionych na str. 101 strategii, widziałaby szansę zmiany tego niekorzystnego zjawiska, w zastosowaniu technologii produkcji pieczywa na zakwasie?

Rezultaty przeprowadzonych eksperymentów posłużyły weryfikacji hipotez badawczych i formułowaniu końcowych wniosków. W świetle zgromadzonego materiału badawczego pozytywnie zweryfikowano wszystkie przyjęte hipotezy. Potwierdzono, że badane proszki grzybowe wykazują istotnie wyższą niż mąka pszenna zawartość błonnika pokarmowego, białka, tłuszczu, składników mineralnych, związków fenolowych i małą zawartość węglowodanów przyswajalnych, a cechuje je niska kaloryczność i wysoka aktywność antyoksydacyjna, co predysponuje je do zastosowania w recepturach piekarskich w charakterze surowców funkcjonalnych (hipoteza 1). Wykazano, że częściowa substytucja mąki pszennej sproszkowanymi owocnikami grzybów leczniczych wpływa na właściwości farinograficzne ciasta (czas rozwoju, stabilność, stopień rozmiękczenia oraz wodochłonność), przy czym wielkość i kierunek zmian zależy od gatunku zastosowanego grzyba i zastosowanej w cieście dawki (hipoteza 2). Potwierdzono, że zastąpienie części mąki pszennej proszkami grzybowymi determinuje właściwości funkcjonalne pieczywa – zwiększa zawartość białka, błonnika pokarmowego (w tym szczególnie β -glukanów), składników mineralnych, związków fenolowych oraz zwiększa potencjał antyoksydacyjny produktu, natomiast ogranicza zawartość węglowodanów przyswajalnych i obniża kaloryczność pieczywa (hipoteza 3). Dowiedziono, że wprowadzenie preparatów grzybów leczniczych do receptury wpływa na parametry technologiczne (wzrost wydajności, obniżenie strat) i właściwości fizyczne pieczywa (zmniejszenie objętości właściwej, zwiększenie twardości, zmniejszenie sprężystości i spójności, przyciemnienie barwy i zmiana tonacji), zwiększenie wodochłonności i rozpuszczalności suchej substancji, a jednocześnie nie wpływa negatywnie na akceptowalność sensoryczną pieczywa (hipoteza 4). Ponadto wykazano, że częściowa substytucja mąki pszennej sproszkowanymi owocnikami grzybów ogranicza strawność skrobi i białka w pieczywie (hipoteza 5).

Przedstawione w ocenianej rozprawie doktorskiej wyniki badań niewątpliwie niosą ze sobą duży potencjał aplikacyjny. W ciągu ostatnich lat obserwuje się rosnącą liczbę rejestrowanych produktów mogących pełnić rolę żywności funkcjonalnej. Niezmiennie jest to atrakcyjny segment rynku stwarzający wiele możliwości wprowadzenia nowych produktów. Zaletą proponowanego rozwiązania jest to, że nie wiąże się ono z koniecznością zmiany usprzętowania piekarni i związanymi z tym nakładami. Wprowadzenie rezultatów prac prowadzonych w skali laboratoryjnej do praktyki produkcyjnej wymaga jednak, poza skalowaniem, rozważenia pewnych aspektów natury logistycznej i ekonomicznej:

- czy w przypadku decyzji producenta pieczywa o wdrożeniu proponowanych technologii konieczne jest sprowadzanie owocników grzybowych z krajów Dalekiego Wschodu, czy też dostępne są preparaty produkowane w Polsce lub innych krajach europejskich?
- jak, szacunkowo, stosowanie proponowanych dodatków funkcjonalnych wpłynie na koszt pieczywa?
- jak na tle składu badanych grzybów leczniczych i zawartych w nich związków bioaktywnych kształtuje się kompozycja rodzimych grzybów leśnych?

Proszę doktorantkę o ustosunkowanie się do wskazanych w recenzji dyskusyjnych kwestii podczas publicznej obrony.

Na szczególną uwagę zasługuje staranność, z jaką przygotowano przedstawioną do recenzji rozprawę doktorską. Z obowiązku recenzenta wymienię nieliczne dostrzeżone w tym obszernym, bo liczącym łącznie 223 strony opracowaniu, uchybienia redakcyjne w treści komentarza:

- brak konsekwencji w pisowni zwyczajowej nazwy grzybów *Ganoderma lucidum* - w tekście pojawia się zarówno forma Reishi, jak i reishi. Wydaje się, że inaczej niż w j.angielskim, zgodnie z zasadami pisowni w j.polskim, poprawna jest forma pisana małą literą, podobnie jak w przypadku nazw innych gatunków roślin
- proces, w którym pod wpływem podgrzewania w wodzie ziarna skrobi pęcznieją i tracą swoją strukturę krystaliczną, tworząc koloidalny roztwór, należałoby w rozprawie naukowej nazywać terminem „kleikowanie”, a nie „żelatynizacja”
- drobną nieścisłością jest rozbieżność w opisie metod badawczych, gdzie na str. 34 podano, że objętość właściwą pieczywa oznaczano z wykorzystaniem ziarna prosa, podczas gdy w publikacjach wskazano ziarna gorczycy
- na str. 15 brak fragmentu tekstu w ostatnim akapicie.

Wniosek końcowy

Podsumowując recenzję stwierdzam, że Doktorantka zapoznała się z obszerną literaturą przedmiotu badań, dobrze uzasadniła potrzebę podjęcia badań, sformułowała cel główny i cele szczegółowe oraz hipotezy badawcze, zaplanowała i przeprowadziła doświadczenia oraz przedstawiła wnioski, które odnoszą się do celów pracy i weryfikują postawione hipotezy. Doktorantka tym samym dowiodła swoich umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy, w tym dokumentowania i publikowania wyników badań. Przedstawiona dysertacja zawiera elementy nowości, czym spełnia wymagania formalne i merytoryczne stawiane rozprawom na stopień naukowy doktora.

Niewątpliwie głównym walorem pracy jest integracja wiedzy z zakresu biochemii grzybów i technologii zbóż, umożliwiająca projektowanie pieczywa o wysokim potencjale funkcjonalnym. Jak dowiodła Doktorantka, zastosowanie biomasy grzybowej w wypiekach może stanowić wartościowy element strategii dietoprofilaktycznej, wspierającej zdrowie populacji w kontekście narastającej częstości występowania chorób cywilizacyjnych.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Pauliny Ewy Łysakowskiej pt. „Wpływ częściowej substytucji mąki pszennej sproszkowanymi owocnikami wybranych grzybów leczniczych na cechy technologiczne, właściwości fizykochemiczne, potencjał antyoksydacyjny i jakość sensoryczną pieczywa pszennego” spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) i wnioskuję do Rady Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie o dopuszczenie mgr inż. Pauliny Ewy Łysakowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie szczególnie wysoko oceniam wartość naukową i praktyczną dysertacji oraz znaczący wkład zrealizowanych badań w poszerzenie dotychczasowej wiedzy. Mając na uwadze nowatorski charakter przedstawionej pracy, całościowe, wielowątkowe podejście do poruszanego problemu badawczego, jakość przedstawionych wyników oraz staranny sposób przygotowania rozprawy, zgłaszam wniosek o wyróżnienie przedstawionej do recenzji rozprawy doktorskiej mgr inż. Pauliny Ewy Łysakowskiej stosowną nagrodą.

