

Toruń, 13.04.2026

miejsowość, data

Imię i nazwisko doktoranta: Tetiana Dyrda-Terniuk

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Dyscyplina naukowa: nauki chemiczne

Tytuł rozprawy doktorskiej: Opracowanie metodologii do kompleksowej analizy biokoloidów oraz ich wykorzystanie na potrzeby przemysłu mleczarskiego

Streszczenie rozprawy doktorskiej:

W niniejszej pracy opracowano metodologię kompleksowej analizy prostych układów koloidalnych pochodzenia mleczarskiego, obejmujących białka mleka, tj. kazeinę i laktoferynę, oraz bardziej złożonych układów, takich jak śmietanka. Badane układy były poddane ukierunkowanej modyfikacji w celu kształtowania ich właściwości funkcjonalnych oraz poszerzenia możliwości aplikacyjnych. Podjęty kierunek badań jest istotny, ponieważ pozwala on rozwiązywać problemy związane z ograniczoną funkcjonalnością naturalnych składników mleka, projektowaniem żywności wzbogacanej, poprawą jakości analiz dotyczących białek oraz opracowywaniem nowych układów nośnikowych i bioaktywnych o potencjale aplikacyjnym dla przemysłu mleczarskiego oraz obszaru biomedycznego.

W ramach pracy opracowano metodę naturalnego wzbogacania śmietanki w witaminę D3 z wykorzystaniem *Lactiplantibacillus plantarum*. Wykazano, że skuteczność biosyntezy witaminy D3 zależy od warunków prowadzenia procesu, a najkorzystniejsze wyniki uzyskano przy zastosowaniu liofilizowanej formy bakterii, w warunkach bez mieszania i przy ekspozycji na światło. Stwierdzono również, że zastosowanie bakterii wpływa na profil kwasów tłuszczowych śmietanki, prowadząc do spadku udziału nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) oraz wzrostu udziału jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA), co może sprzyjać poprawie właściwości prozdrowotnych produktu.

Istotnym elementem badań była także charakterystyka fizykochemiczna laktoferyny bydlęcej (bLF). Wykazano, że stabilność tego układu białkowego zależy od pH oraz siły jonowej, a obecność niskocząsteczkowych zanieczyszczeń, takich jak sole i peptydy, może pogarszać jakość analiz. Zastosowanie ultrafiltracji (UF) umożliwiło skuteczne oczyszczenie próbki bez istotnego wpływu na masę cząsteczkową białka, a jednocześnie poprawiło reprezentatywność próbki oraz wiarygodność wyników identyfikacji uzyskiwanych metodą MALDI-TOF/MS. Wyniki te potwierdziły znaczenie odpowiedniego

przygotowania próbek w dalszych badaniach nad właściwościami fizykochemicznymi oraz biologicznymi LF.

Modyfikacja białek mleka jonami metali stanowi obiecującą platformę do projektowania układów bioaktywnych o ulepszonej lub rozszerzonej funkcjonalności. W niniejszej pracy przeprowadzono modyfikację kazeiny (CN) jonami srebra Ag(I) , a także funkcjonalizację LF jonami rutenu Ru(III) . Na podstawie badań izotermicznych wykazano, że sorpcja Ag(I) przez kazeinę ma charakter heterogeniczny oraz wieloetapowy, a przeprowadzone odsalanie białka zwiększa jego zdolność do wiązania srebra. Wykazano również, że wiązanie Ag(I) prowadzi do zmian w organizacji miceli kazeinowych oraz konformacji białka. Wyniki badań spektroskopowych oraz mikroskopowych wskazują, że proces ten obejmuje początkowe wiązanie Ag(I) przez grupy funkcyjne kazeiny, a następnie częściową bioredukcję prowadzącą do powstawania nanocząstek srebra oraz tworzenia nanokompleksów Ag-CN . Otrzymane układy Ag-CN wykazywały aktywność przeciwbakteryjną przy jednocześnie niższej cytotoksyczności niż wolne jony srebra, co wskazuje na ich potencjał w projektowaniu biokompatybilnych preparatów antyseptycznych.

Z kolei wyniki badań izotermicznych oraz kinetycznych wskazują, że tworzenie się kompleksów LF-Ru przebiega samorzutnie i w krótkim czasie, a mechanizm wiązania Ru(III) może być określony jako nasyceniowy, polegający na stopniowym zajmowaniu ograniczonej liczby dostępnych miejsc wiązania. Wyniki badań spektroskopowych, SAXS oraz analiz obliczeniowych potwierdziły, że obecność Ru(III) wywołuje zmiany w organizacji strukturalnej oraz właściwościach fizykochemicznych LF, nie prowadząc jednak do istotnego zaburzenia jej globalnej stabilności. Otrzymane kompleksy LF-Ru charakteryzowały się ograniczonym uwalnianiem rutenu, natomiast ich szybka degradacja pod wpływem pepsyny wskazuje na potrzebę zastosowania dodatkowej enkapsulacji w celu zachowania integralności układu w warunkach fizjologicznych. Jednocześnie wykazano, że wiązanie Ru(III) wpływa na odpowiedź biologiczną LF, zmniejszając żywotność komórek nowotworowych przy jednocześnie większej tolerancji ze strony fibroblastów, co potwierdza potencjał biomedyczny tych układów.

W ujęciu aplikacyjnym praca ta pokazuje, że mleko oraz jego frakcje mogą być traktowane jako surowce platformowe dla nowoczesnego mleczarstwa wysokiej wartości dodanej. Zaproponowane podejście łączy analizę rynku z pogłębionym chemizmem oddziaływań i wskazuje, że kazeina, laktoferyna oraz śmietanka mogą pełnić role wykraczające poza ich klasyczne funkcje żywieniowe: odpowiednio nośnika antyseptycznego, aktywnego rusztowania koordynacyjnego oraz matrycy naturalnej biofortyfikacji. Tym samym rozprawa wzmacnia koncepcję przetwórstwa mleczarskiego opartego na selektywnym odzysku frakcji, precyzyjnym projektowaniu ich właściwości i kierowaniu ich do zastosowań funkcjonalnych, nutraceutycznych oraz biomateriałowych.

.....
podpis doktoranta