

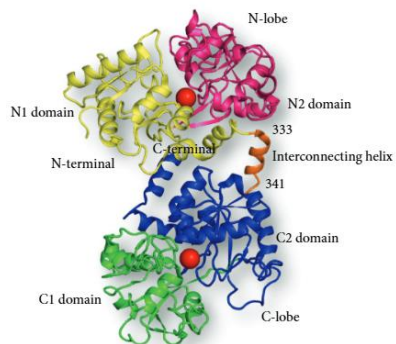
Niekonwencjonalne zastosowania laktoferyny bydłęcej

Zespół BioColl & Paweł Pomastowski

*Zespół badawczy BioColl
Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii
Instytut Studiów Zaawansowanych
Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu*



Biochemistry Research International



Właściwości przeciwdrobnoustrojowe

Aktywność bakteriostatyczna i bakteriobójcza

Wiązanie mikroelementów

- Wiązanie żelaza, cynku oraz innych metali.

Struktura molekularna

- Laktoferyna jest glikoproteiną zbudowaną z 689 aminokwasów, posiadającą dwa płaty (lobusy) wiążące jony żelaza.

Jest to globularne białko serwatkowe należące do rodziny glikoprotein wiążących żelazo. Cząsteczka składa się z pojedynczego łańcucha polipeptydowego zwiniętego w dwa płaty (N i C), z których każdy zawiera jedno miejsce wiązania żelaza.

| UKŁAD / STRUKTURA | MODEL EKSPERYMENTALNY | DROGA PODANIA | EFEKT TERAPEUTYCZNY |
|-------------------|--------------------------|-----------------------|---|
| KOŚCI | Osteoporoza | Doustnie (enteralnie) | Poprawia mikroarchitekturę kości |
| KOŚCI | Ubytek kości czaszki | Pozajelitowo | Przyspiesza regenerację tkanki kostnej |
| CHRZĄSTKA | Zapalenie kości i stawów | Doustnie (enteralnie) | Redukcja stanu zapalnego stawów |
| ROGÓWKA | Uszkodzenie chemiczne | Miejscowo | Przyspieszone gojenie, zmniejszenie stanu zapalnego |

| Funkcja | Efekt terapeutyczny |
|----------------------------------|---|
| Układ nerwowy | Efekt neuroprotektoryjny – wspiera przeżycie i regenerację neuronów; może wspomagać funkcje poznawcze. |
| Aktywność przeciwdrobnoustrojowa | Efekty przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe, przeciwgrzybicze i przeciw pasożytnicze – hamuje wzrost i adhezję patogenów. |
| Układ odpornościowy | Właściwości immunomodulujące – reguluje odpowiedź immunologiczną, wzmacnia mechanizmy obronne gospodarza. |





Konferencja międzynarodowa

W dniach 8–9 kwietnia 2025 r. w ICNT odbyła się konferencja poświęcona osi jelito–mózg i jej roli w chorobach neurodegeneracyjnych.

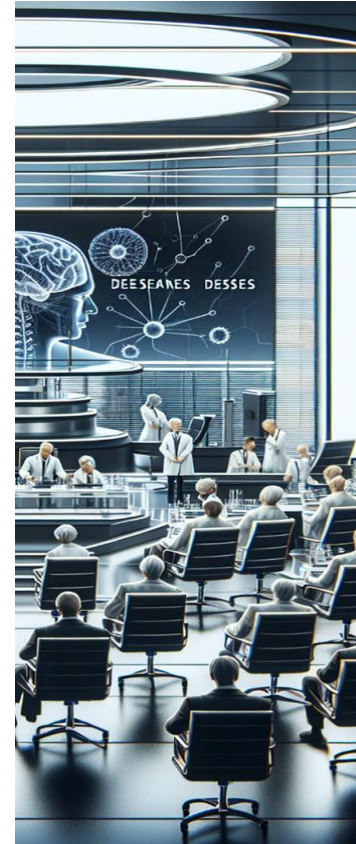
Konferencja międzynarodowa

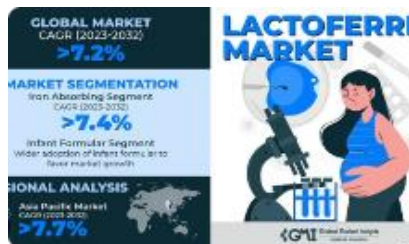
Eksperti z Polski, Japonii, Hiszpanii, Czech i Turcji dyskutowali kluczowe zagadnienia na styku neurotechnologii i mikrobiologii.

Aktualność tematu

Temat o wysokiej aktualności społecznej, ekonomicznej i naukowej, zyskujący rosnące znaczenie w medycynie.

Badania prowadzone w ICNT potwierdzają kluczową rolę laktoferyny w komunikacji między układem pokarmowym a układem nerwowym. Właściwości przeciwzapalne i immunomodulujące tego białka mogą mieć istotne znaczenie w prewencji chorób neurodegeneracyjnych.





Suplementy w formie kapsułek.

Najczęściej stosowana forma suplementacji laktoferyną – dawki w zakresie 50–250 mg.

Preparaty specjalistyczne

Preparaty wzbogacone o dodatkowe składniki aktywne, ukierunkowane na konkretne problemy zdrowotne.

Market trends

Rosnące zainteresowanie preparatami wspierającymi odporność doprowadziło do zwiększenia dostępności produktów zawierających laktoferynę

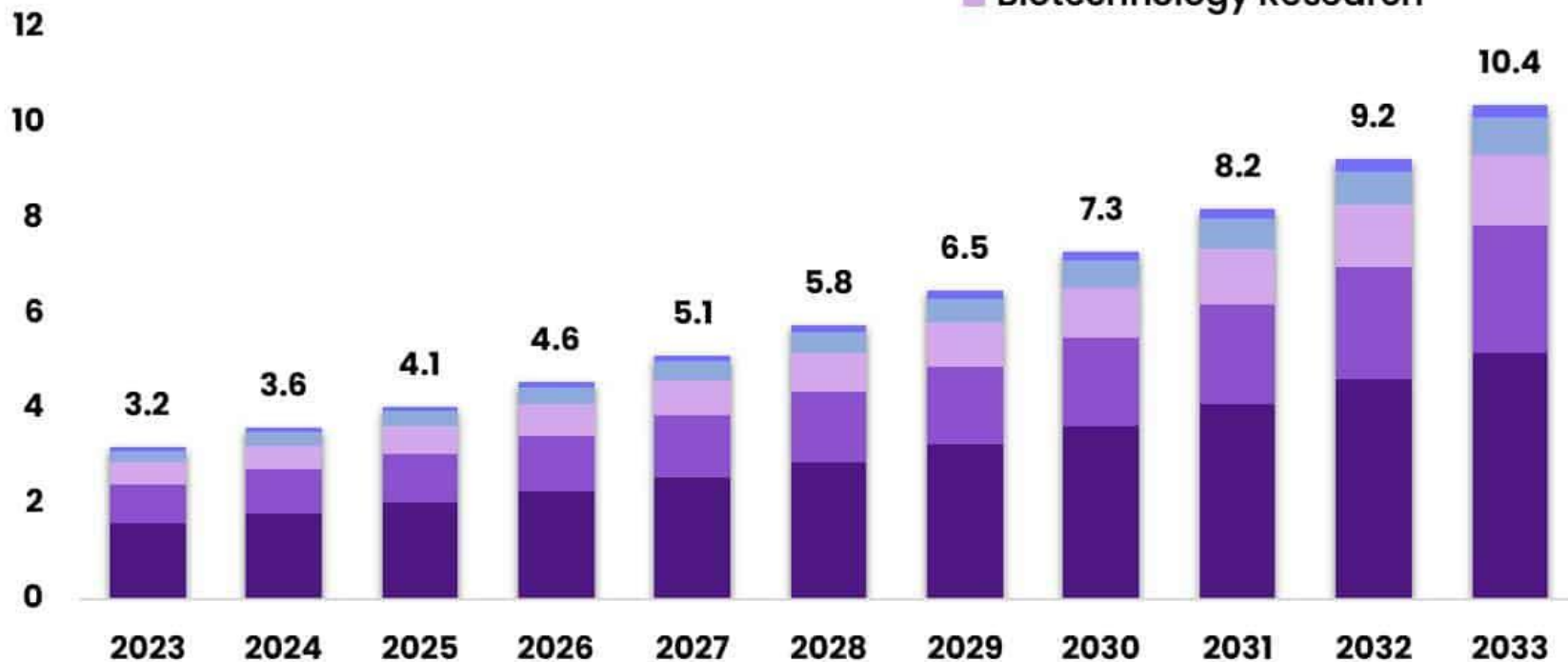


Dynamiczny wzrost (CAGR, Skumulowany Roczny Wskaźnik Wzrostu): +7,82% –
5
wskaźnik, który zachęca do działania i inwestycji!

Recombinant Proteins Market

Size, by Application, 2023-2033 (USD Billion)

- Drug Discovery & Development
- Biopharmaceutical Production
- Biotechnology Research



The Market will Grow
At the CAGR of

12.5%

The Forecasted Market
Size for 2033 in USD

10.4 B

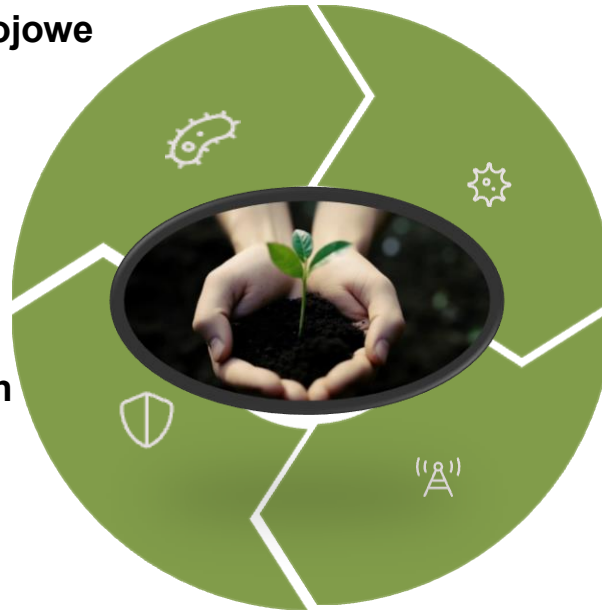
market.us
ONE STOP SHOP FOR THE REPORTS

Właściwości przeciwdrobnoustrojowe

Hamowanie wzrostu bakterii poprzez chelatowanie żelaza i destabilizację błon komórkowych

Wiązanie cząsteczek anionowych

Zdolność wiązania DNA, heparyny oraz endotoksyn



Działanie przeciwwirusowe

Blokowanie wiązania wirusów z komórkami gospodarza

Właściwości regeneracyjne

Regulacja migracji i proliferacji komórek



Badania podstawowe

Identyfikacja struktury i aktywności biologicznej



Optymalizacja metody izolacji

Techniki chromatograficzne i filtracyjne



Weryfikacja aktywności

Testy biologiczne potwierdzające integralność funkcjonalną



Wdrożenie przemysłowe

Skalowanie metody do produkcji

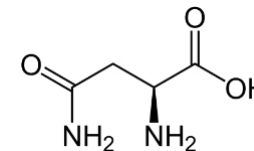
Projekt: Opracowanie preparatywnej metody biologicznej izolacji aktywnej laktoferyny

Finansowanie: NCBR, LIDER, DPWP/LIDER-XIII/6/2023

Okres realizacji: 01.07.2023–01.01.2027

Klasyfikacja laktoferyny bydlęcej – wyróżnia się dwie główne formy bLF:

- bLTF-a: masa cząsteczkowa ≈ 80 kDa, forma dominująca w sianie (do 30%)
- bLTF-b: masa cząsteczkowa ≈ 84 kDa, główna forma w mleku dojrzalym (do 85%)



Glikozylacja jako czynnik strukturalny

Zwiększa odporność na trawienie enzymatyczne, ogranicza uwalnianie żelaza przy niskim pH oraz sprzyja prawidłowemu fałdowaniu białek.



Wpływ na właściwości przeciwdrobnoustrojowe

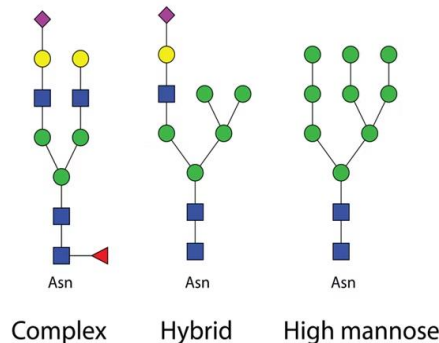
Chelatowanie jonów wapnia przez kwas sjałowy destabilizuje błony bakteryjne, a wiązanie bakterii do struktur mannozowych może ograniczać inwazję.



Zmiana właściwości sygnalizacyjnych

Bezpośrednie rozpoznanie glikanu przez receptor oraz pośrednia modulacja struktury białka wpływają na interakcje z komórkami.

N-linked glycosylation



■ GlcNAc ■ Mannose ■ Galactose ■ Sialic acid ▲ Fucose ■ GalNAc



| <i>m/z</i> | POZYCJA | SEKWENCJA | MODYFIKACJA CUKROWA |
|------------|---------|--------------|---------------------|
| 666 | 300-303 | NKSR | Hex (N) |
| 707 | 300-303 | NKSR | HexNAc (N) |
| 1122 | 534-541 | CVPNSKEK | HexN (N) |
| 1123 | 534-541 | CVPNSKEK | Hex (N) |
| 1685 | 244-255 | DQYELLCLNNSR | HexN (N) |

Analiza spektrometrii mas ujawniła obecność licznych modyfikacji cukrowych w cząsteczce laktoferyny. Poszczególne miejsca glikozylacji wpływają na właściwości biologiczne białka oraz jego stabilność.

Przygotowanie próbek

Filtraty laktoferyny bydlęcej przygotowane w różnych rozcieńczeniach do elektroforezy SDS-PAGE.

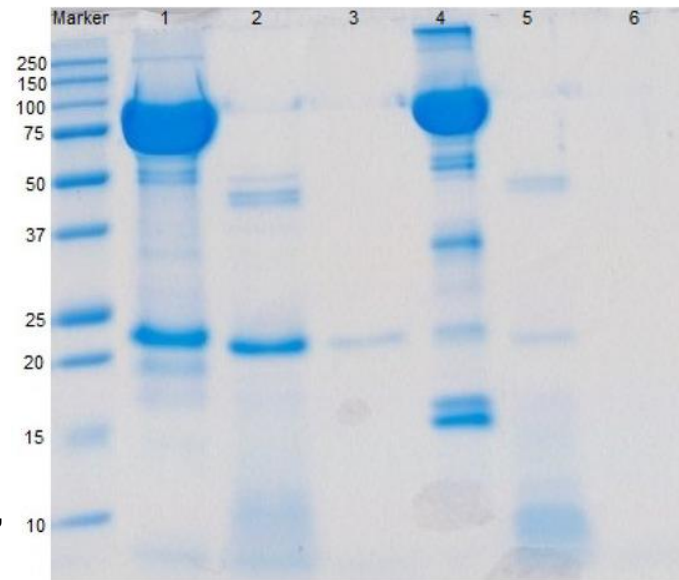
Elektroforeza w warunkach redukujących i nieredukujących

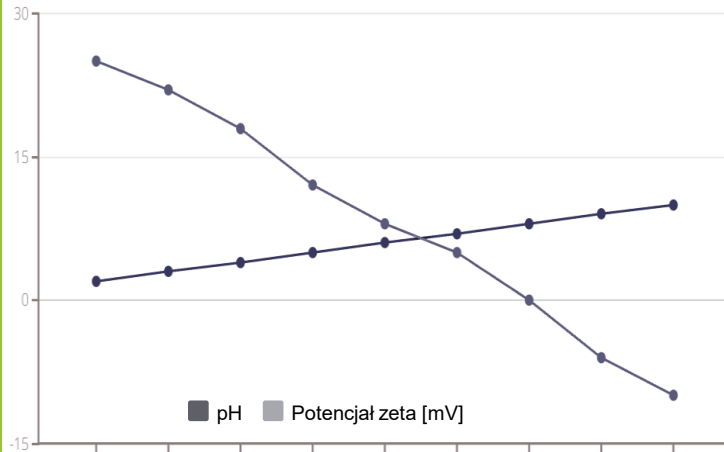
Rozdział elektroforetyczny w dwóch wariantach umożliwia ocenę struktury białka i jego właściwości.

Analiza prążków

Porównanie intensywności prążków pozwala ocenić czystość i jakość preparatu laktoferyny.

Elektroferogram SDS-PAGE filtratu laktoferyny bydlęcej (punkt odcięcia 50 kDa) w różnych rozcieńczeniach (1:1, 1:2, 1:5, 1:10), wykonany w trybie nieredukującym (N) i redukującym (R).

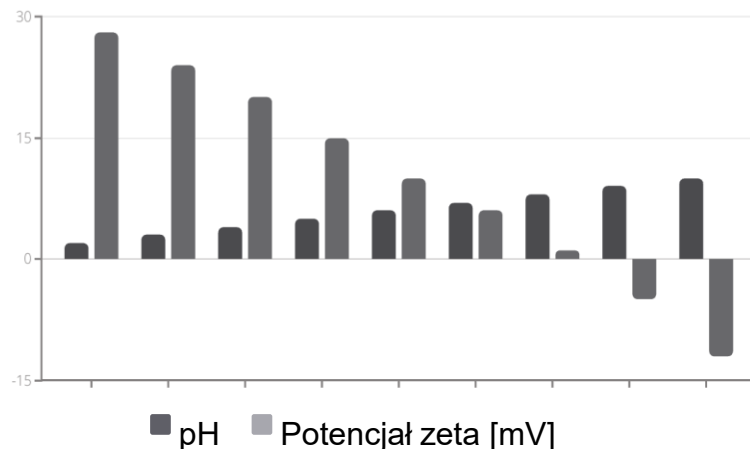




Analiza potencjału zeta laktoferyny w roztworze 0,9% NaCl wskazuje na zmianę ładunku powierzchniowego w zależności od pH środowiska. Punkt zerowego ładunku (punkt izoelektryczny) przypada w okolicy $\text{pH} \approx 8$, co istotnie wpływa na interakcje białka z innymi cząsteczkami i powierzchniami.

| pH | Pik 1 [nm] | Pik 2 [nm] | Pik 3 [nm] |
|----|------------|------------|------------|
| 2 | 396 | 59 | 12 |
| 3 | 531 | 91 | 9 |
| 4 | 342 | 79 | 12 |
| 5 | 342 | 68 | 10 |
| 6 | 255 | 44 | 9 |
| 7 | 342 | 44 | 9 |
| 8 | 220 | 38 | 9 |
| 9 | 531 | 59 | 10 |
| 10 | 531 | 44 | 9 |

Analiza rozmiaru cząstek laktoferyny bydlęcej w roztworze 0,9% NaCl pokazuje, że stopień agregacji zależy od pH środowiska. Najmniejsze rozmiary agregatów obserwowano przy pH 8, co koreluje z punktem izoelektrycznym białka. 12



W roztworze o niższym stężeniu soli (0,09% NaCl) potencjał zeta laktoferyny wykazuje podobną zależność od pH, lecz z nieco wyższymi wartościami bezwzględny. Obniżenie siły jonowej roztworu ogranicza ekranowanie ładunków powierzchniowych białka.

| pH | Pik 1 [nm] | Pik 2 [nm] | Pik 3 [nm] |
|----|------------|------------|------------|
| 2 | 236 | 20 | 9 |
| 3 | 724 | 114 | 16 |
| 4 | 127 | 14 | - |
| 5 | 210 | 12 | - |
| 6 | 126 | 16 | 3 |
| 7 | 174 | 51 | - |
| 8 | 131 | 15 | - |
| 9 | 3526 | 176 | 11 |
| 10 | 688 | 125 | 35 |

W roztworze o niższym stężeniu soli (0,09% NaCl) obserwuje się istotne różnice w rozmiarach cząstek laktoferyny. Szczególnie interesujące jest powstawanie bardzo dużych agregatów przy pH 9 (ponad 3500 nm), co sugeruje silne oddziaływania między cząsteczkami białka w środowisku zasadowym przy niskiej sile jonowej.



Środowisko kwaśne (pH 2–4)

Wyższa stabilność strukturalna, mniejsza skłonność do



Środowisko obojętne (pH 6–8)

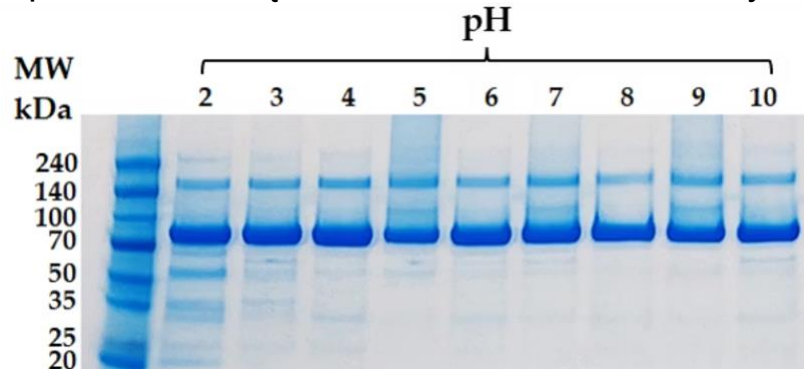
Zmiany konformacyjne związane z przejściem przez punkt izoelektryczny



Środowisko zasadowe (pH 9–10)

Zwiększona tendencja do tworzenia agregatów

Elektroferogram SDS-PAGE laktoferyny bydlęcej (0,5 mg/mL), wykonany w trybie nieredukującym (N) w zakresie pH 2–10, obrazuje wpływ pH na strukturę oraz ruchliwość elektroforetyczną białka.





Analiza jakościowa

Identyfikacja struktury białka i ocena czystości



Analiza ilościowa

Wyznaczenie rzeczywistej zawartości laktoferyny



Aspekty prawne

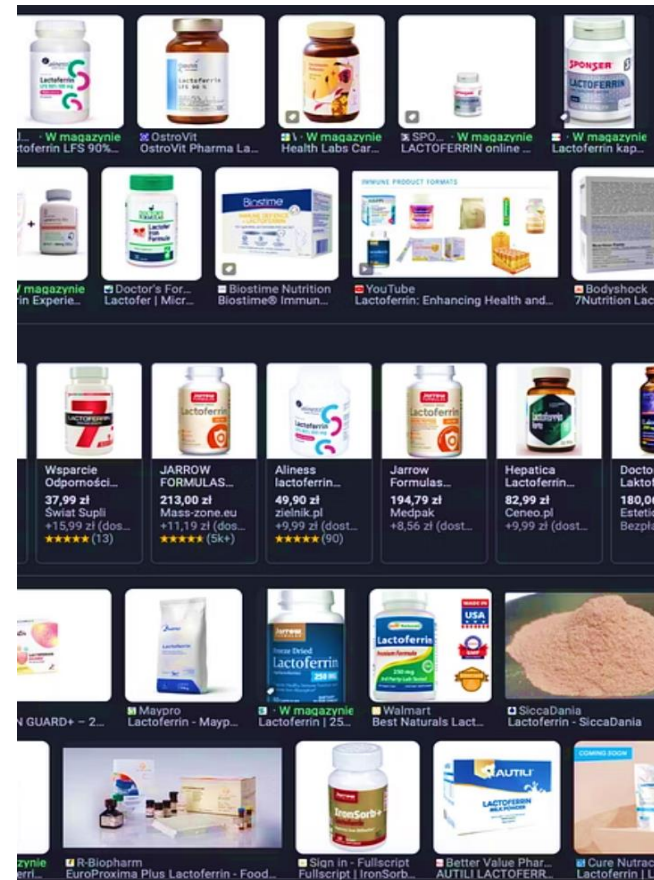
Ocena zgodności z deklaracją producenta



Bezpieczeństwo konsumenta

Wykrywanie potencjalnych zafalszowań

Tytuł projektu (Opus, NCN): „Prawnokarne i kryminologiczne aspekty podrabiania towarów oraz produktów leczniczych”





Oleksandra Pryshchepa, Natalia Daško*, Katarzyna Rafińska, Paula Walenda, Janusz Bojarski, Michał Złoch,
Jerzy Łukaszewicz, Paweł Pomastowski, Andrzej Adamski

Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

*Modern methods of detection and analysis of whey proteins
in the context of prevention of falsification of merchandise*

Współczesne metody detekcji i analizy białek serwatkowych w kontekście zapobiegania fałszowaniu towarów



Artykuł przedstawia kompleksowe podejście do analizy preparatów laktoferyny, łącząc aspekty chemiczne i analityczne z ujęciem prawnym w kontekście ochrony konsumenta.

Artykuł naukowy

Publikacja w czasopiśmie „Przemysł Chemiczny” dotycząca analizy jakości i bezpieczeństwa preparatów laktoferyny.

Metodyka badań

Prezentacja zaawansowanych technik analitycznych do identyfikacji oraz ilościowego oznaczania laktoferyny w suplementach diety.

Aspekty prawne

Omówienie regulacji dotyczących jakości suplementów diety oraz odpowiedzialności producentów za deklarowaną zawartość składników aktywnych.



Journal of Food Composition and Analysis – publikacja

ZARZĄDZENIE Nr 25

Dziekana Wydziału Prawa i Administracji
Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu
z dnia 22 grudnia 2025 roku

w sprawie powołania zespołu naukowego pod nazwą:
Interdyscyplinarny zespół badawczy problematyki prawnej żywności i żywienia

Na podstawie § 27 ust. 5 Statutu Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu z dnia 16
kwietnia 2019 r. (t.j. Biuletyn Prawny UMK z 2024 r., poz. 10)

zarządza się, co następuje:

§ 1

1. Powołuje się Interdyscyplinarny zespół badawczy problematyki prawnej żywności i żywienia (dalej: Zespół).
2. W skład Zespołu wchodzi:
 - 1) Dr Natalia Daško – liderka zespołu,
 - 2) Prof. dr hab. Maciej Serwaniec,
 - 3) Dr hab. Janusz Bojarski, prof. UMK,
 - 4) Dr hab. Paweł Pomastowski, prof. UMK,
 - 5) Dr Jagoda Jaskulska,
 - 6) Dr Aleksandra Gilówczevska,
 - 7) Dr Aleksandra Pryschhepa,
 - 8) Dr Aleksandra Kleińska-Nawrocka.
3. Jeżeli w okresie istnienia Zespołu dołączy do niego lub wystąpi z niego jego Członkowie, Zespół może działać w nowym składzie, bez potrzeby zmiany niniejszego Zarządzenia, na podstawie pisemnej informacji przekazanej Dziekanowi Wydziału.

§ 2

Głównym obszarem badań zespołu jest problematyka prawna żywności i żywienia, ujmowana w perspektywie interdyscyplinarnej, w szczególności w zakresie:

- 1) prawa administracyjnego oraz regulacji rynku żywności i bezpieczeństwa żywności,
- 2) prawa karnego oraz kryminologicznych aspektów przestępczości w sektorze żywnościowym,
- 3) prawa konstytucyjnego i praw człowieka, ze szczególnym uwzględnieniem prawa do żywności,
- 4) prawa pracy w sektorze rolno-spożywczym,
- 5) historycznych, kulturowych i antropologicznych uwarunkowań praktyk żywieniowych oraz ich regulacji prawnych,
- 6) współpracy nauk prawnych z naukami ścisłymi, w szczególności w zakresie badań składu produktów oraz wykrywania fałszowania żywności.

§ 3

Celem zespołu jest w szczególności:

- 1) prowadzenie badań naukowych nad prawnymi, kryminologicznymi i historycznymi aspektami żywności i żywienia oraz upowszechnianie wyników tych badań w formie publikacji naukowych i konferencji,
- 2) rozwijanie stałej współpracy badawczej pomiędzy przedstawicielami nauk prawnych, nauk historycznych oraz nauk ścisłych, w szczególności we współdziałaniu z Interdyscyplinarnym Centrum Nowoczesnych Technologii UMK,
- 3) inicjowanie i realizacja projektów badawczych o charakterze interdyscyplinarnym, łączących analizę normatywną z badaniami empirycznymi i laboratoryjnymi,
- 4) wspieranie działań związanych z ewaluacją działalności naukowej Wydziału Prawa i Administracji poprzez zwiększanie widoczności badań interdyscyplinarnych oraz ich oddziaływania na otoczenie społeczno-gospodarcze.

§ 4

Zarządzenie wchodzi w życie z dniem podjęcia.

Dziekan

Wydziału Prawa i Administracji

Prof. dr hab. Maciej Serwaniec

elementów
problemu podrabianych
ich rosnące zagrożenie dla

analizy: spektrofotometrię,
spektroskopię FTIR, chromatografię
MS/MS, LDI-TOF.

ścisłej między deklarowaną a
faktyczną w badanych

zawieszenia suplementów w
Unii Europejskiej.

aspektowego podejścia
do suplementów diety oraz
wymagań dotyczących
jakości.



PROJEKT BADAWCZY

Tytuł: „Zastosowanie spektrometrii mas MALDI-TOF (LDI) oraz technik rozdzielania w badaniach wpływu mikrobiomu gruczołu mlekowego na ilość i modyfikacje potranslacyjne laktoferyny w mleku krowim”

Narodowe Centrum Nauki, Preludium 20,
2021/41/N/ST4/01666)

Okres realizacji: 2 lutego 2022 – 1 lutego 2024

CEL BADAWCZY

Zbadanie wpływu mikrobioty gruczołu mlekowego na zawartość oraz modyfikacje potranslacyjne laktoferyny w mleku krowim, ze szczególnym uwzględnieniem glikozylacji.
Określenie zależności pomiędzy składem mikrobiologicznym a właściwościami przeciwbakteryjnymi laktoferyny.



PRELUDIUM 19

| Próbki | C (LTF), mg/mL | Bakterie |
|--------|----------------|---|
| 93_3 | 0,534 | — |
| 93_1 | 0,971 | <i>S. epidermidis</i> , <i>B. licheniformis</i> |
| 95_4 | 0,786 | <i>E. coli</i> , <i>S. hominis</i> , <i>R. terrae</i> |
| 95_3 | 0,785 | <i>S. salivarius</i> |
| 95_2 | 0,782 | <i>C. xerosis</i> |
| 111_4 | 0,495 | — |
| 111_3 | 0,393 | <i>A. viridans</i> |

Tabela przedstawia zależność pomiędzy obecnością bakterii a stężeniem laktoferyny w próbkach mleka. W próbkach zawierających bakterie patogenne obserwuje się istotny wzrost stężenia LTF w porównaniu z próbkami kontrolnymi.

0.67

Średnia zawartość LTF w próbkach „chorych” (mg/ml) — w 35 próbkach wykazujących objawy stanu zapalnego.

0.18

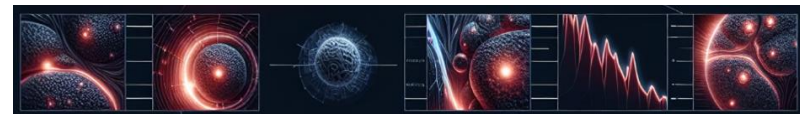
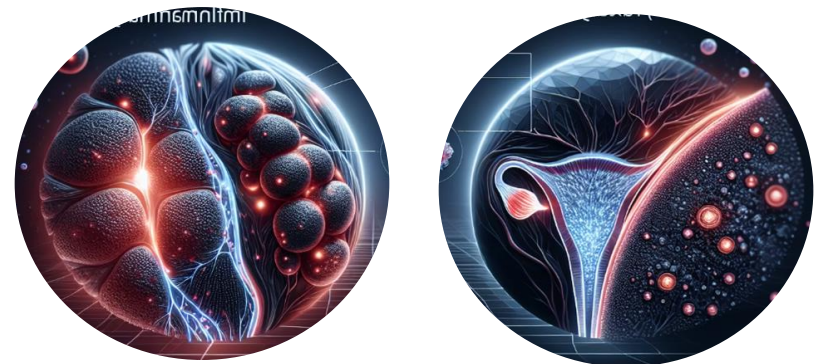
Średnia zawartość LTF w próbkach „zdrowych” (mg/ml) — w 141 próbkach bez oznak stanu zapalnego.

3-5x

Wzrost stężenia — próbki zapalne w porównaniu z próbkami zdrowymi.

140x

Maksymalne różnice — w skrajnych przypadkach dla pojedynczych próbek.

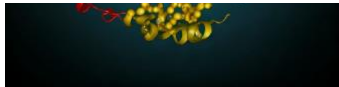


Badania wykazały, że stan zapalny w jednej ćwiartce wpływa na pozostałe ćwiartki wymienia, powodując wzrost stężenia laktoferyny nawet w ćwiartkach bez widocznych objawów zapalenia. U krów bez zapalenia poziom laktoferyny jest zwykle bardzo niski – poniżej 0,1 mg/mL.

Dr Oleksandra Pryshchepa z Interdyscyplinarnego Centrum Nowoczesnych Technologii UMK została laureatką konkursu "Lider", organizowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Na realizację swojego projektu otrzyma blisko 1,8 mln zł.

Badaczka z UMK – dzięki wsparciu z NCBiR – zrealizuje projekt "Opracowanie prototypowej receptury kosmetyku nowej generacji o właściwościach regenerujących, immunomodulujących i przeciwbakteryjnych". Jego celem jest opracowanie innowacyjnego kosmetyku do pielęgnacji dla osób z atopowym zapaleniem skóry (AZS). Choroba ta dotyka znaczną liczbę osób na całym świecie (do 20 proc. dzieci i 2-10 proc. dorosłych), a także w Polsce (4,7-9,2 proc. dzieci i 0,9-1,4 proc. dorosłych). Szacuje się, że cierpi na nią 0,6-1,1 mln ludzi. Istniejące terapie często opierają się na stosowaniu silnie działających leków o potencjalnie szkodliwych skutkach ubocznych, takich jak kortykosteroidy, immunosupresanty i inne, co może generować dodatkowe ryzyko zdrowotne dla pacjentów w postaci m.in. infekcji i chorób nowotworowych.

» Obecnie rynek kosmetyków przeznaczonych do pielęgnacji skóry atopowej charakteryzuje się brakiem produktów zawierających laktoferynę (LTF) lub jej hydrolizaty – zauważa w swoim wniosku dr Oleksandra Pryshchepa. – Preparaty dostępne w tej kategorii niewiele różnią się od zwykłych kosmetyków pielęgnacyjno-nawilżających.



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12



Obróbka termiczna

Denaturacja laktoferyny rozpoczyna się w okolicy 70°C, prowadząc do nieodwracalnej utraty struktury i właściwości.



Procesy ciśnieniowe

Wysokie ciśnienie (HPP ≥ 400 MPa) może powodować zmiany konformacyjne białka.



Fermentacja

Procesy fermentacyjne mogą prowadzić do enzymatycznej degradacji laktoferyny przez proteazy mikroorganizmów.



Suszenie i liofilizacja

Nieprawidłowo prowadzone procesy usuwania wody mogą niekorzystnie wpływać na strukturę białka.

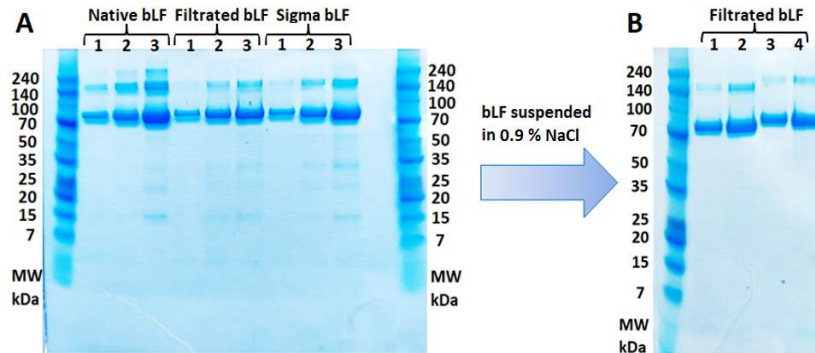


J. Dairy Sci. 107:10280–10298
https://doi.org/10.3168/jds.2024-24933
© 2024. The Authors. Published by Elsevier Inc. on behalf of the American Dairy Science Association.
This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Impact of ultrafiltration on the physicochemical properties of bovine lactoferrin: Insights into molecular mass, surface morphology, and elemental composition

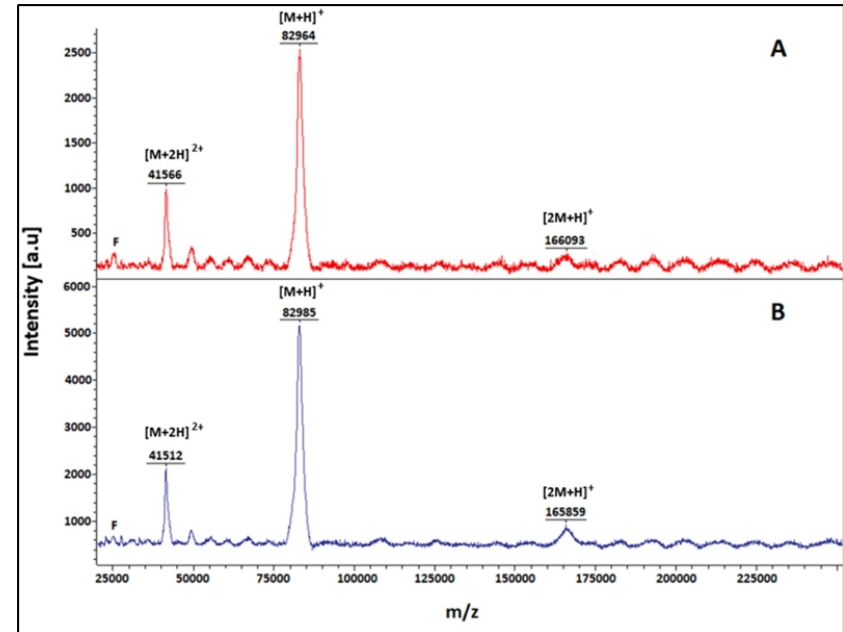
Tetiana Dyrda-Teraniuk¹ and Paweł Pomastowski
Centre for Modern Interdisciplinary Technologies, Nicolaus Copernicus University in Toruń, 87-100 Toruń, Poland

○ SDS-PAGE



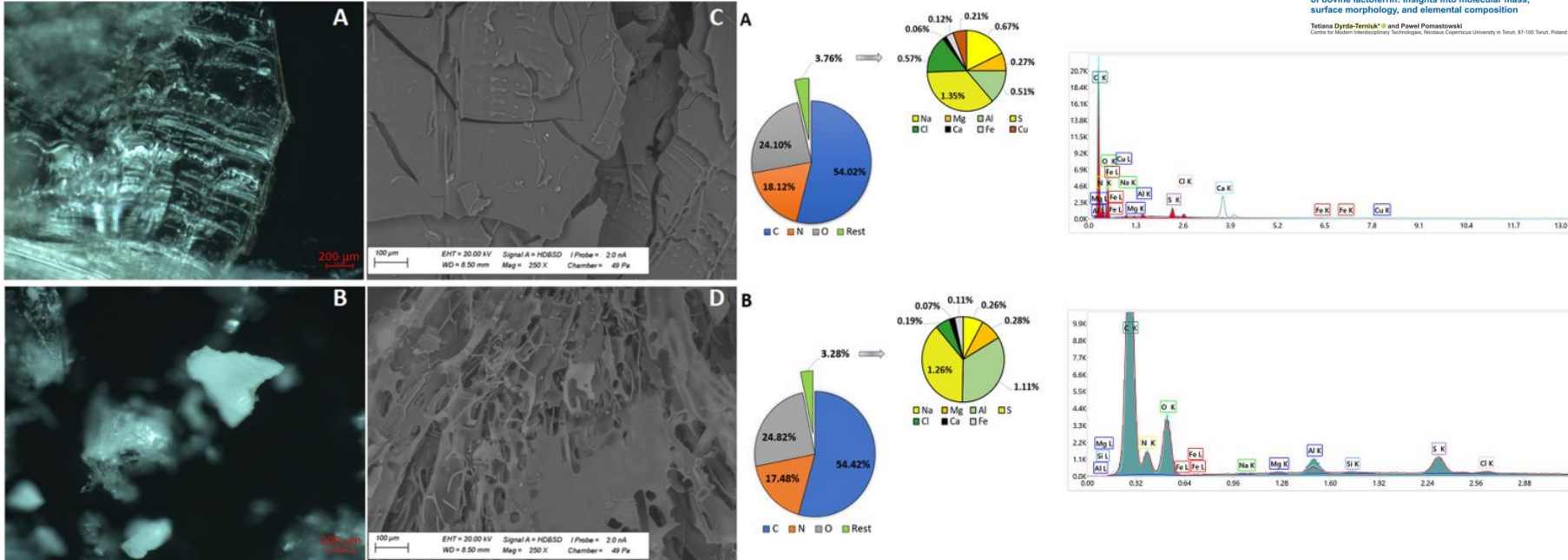
Porównanie profili masowych SDS-PAGE różnych form bLF: filtrowaną bLF rozpuszczono (A) w wodzie w warunkach nieredukujących w stężeniach: (1) 0,2 mg/mL, (2) 0,5 mg/mL oraz (3) 1,0 mg/mL, oraz (B) w 0,9% NaCl w warunkach nieredukujących w stężeniach: (1) 0,5 mg/mL i (2) 1,0 mg/mL, a także w warunkach redukujących w stężeniach: (3) 0,5 mg/mL i (4) 1,0 mg/mL. Komercyjna bLF Sigma ($\geq 85\%$ [SDS-PAGE]) została użyta jako próbka kontrolna w celu oceny stopnia czystości analizowanego białka.

MALDI-TOF/MS



Widma MALDI-TOF/MS nienaruszonej laktoferyny bydlęcej przed (A) i po UF (B). F = fragment. Zmiany intensywności sygnału F dostarczają informacji o skuteczności oczyszczania bLF z mniejszych fragmentów (peptydów). a.u. = jednostki umowne.

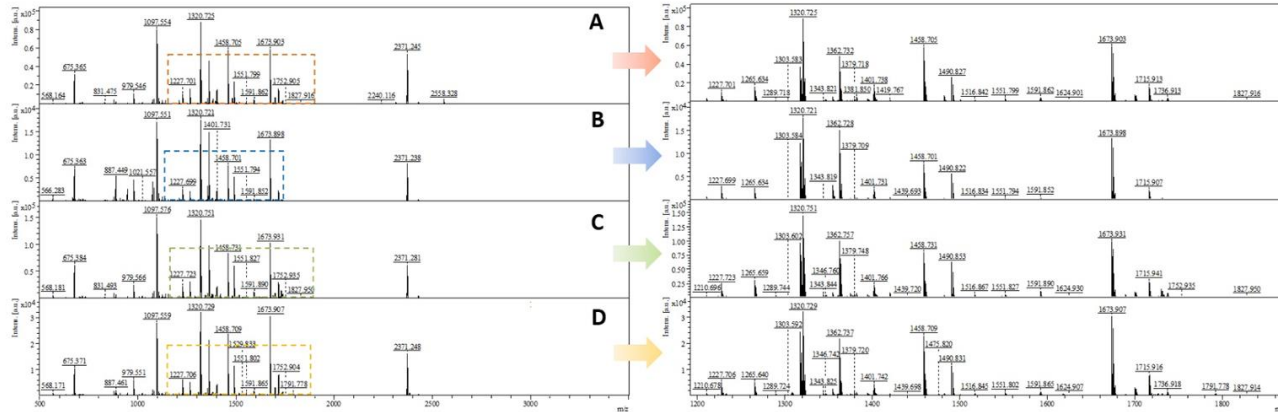
Analiza LM i SEM-EDS



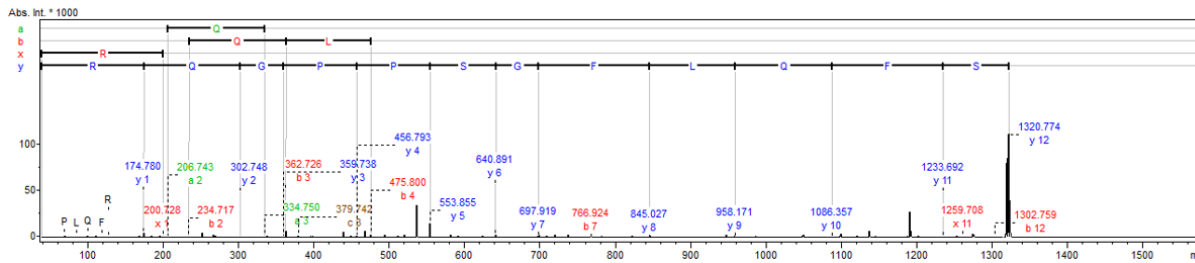
Obrazy mikroskopii świetlnej (A, B) oraz skaningowej mikroskopii elektronowej (C, D) laktoferyny bydłacej przed (A, C) i po UF (B, D).

Analiza EDS (spektroskopia dyspersji energii) laktoferyny bydłacej przed (A) i po UF (B) wraz z odpowiadającymi wykresami kołowymi przedstawiającymi udział masowy poszczególnych pierwiastków w badanych próbkach.

Porównanie LF przed i po UF

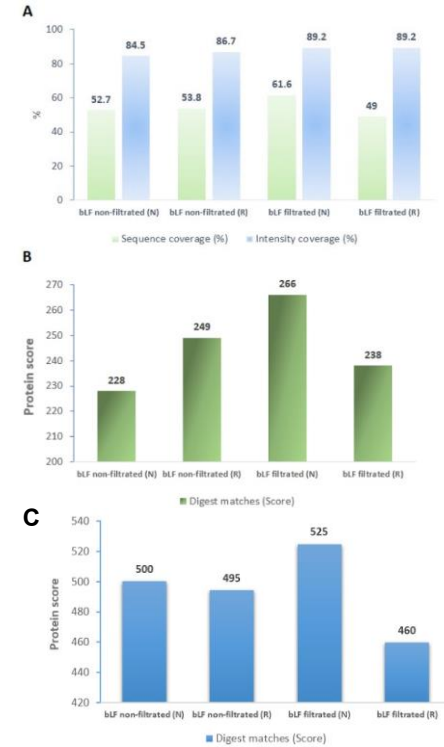


Widma PMF (peptide mass fingerprint) białek trawionych trypsyną: laktoferyna bydlęca po UF w warunkach nieredukujących (A); po UF w warunkach redukujących (B); przed UF w warunkach nieredukujących (C) oraz przed UF w warunkach redukujących (D). a.u. = jednostki umowne.



Fragmentacja peptydu SFQLFGSPPGQR (304–315).

Dyrda-Teraniuk, T. & Pomastowski, P. Impact of Ultrafiltration on the Physicochemical Properties of Bovine Lactoferrin: Insights into Molecular Mass, Surface Morphology, and Elemental Composition. *J. Dairy Sci.* **107**, 10280–10298 (2024).

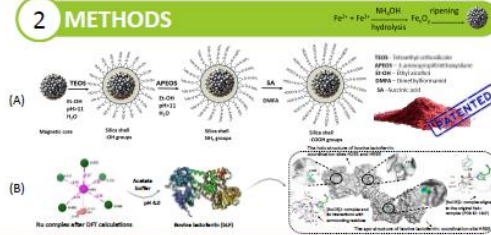


Parametry identyfikacji laktoferyny bydlęcej na podstawie widm PMF (A, B) oraz MS/MS (C).

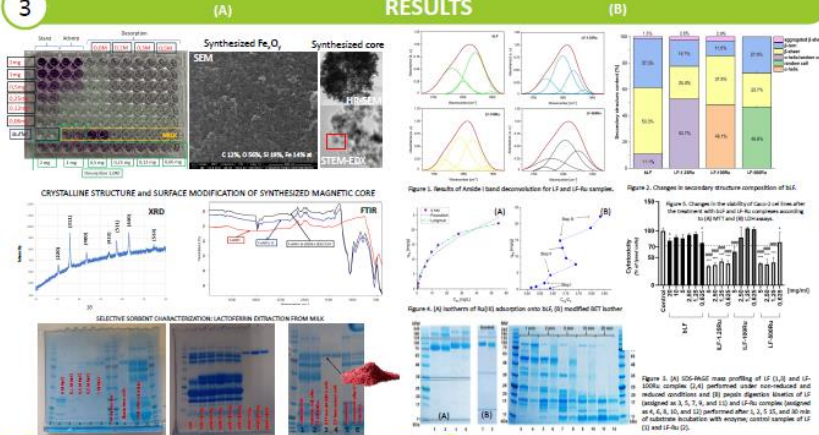
1 INTRODUCTION

We develop two complementary lactoferrin (LF)-based modalities: (A) ruthenium(III)-LF coordination complexes as redox-responsive adducts with prospective anticancer and antimicrobial utility and (B) high-yield batch isolation of lactoferrin using magnetically recoverable core-shell Fe₃O₄/SiO₂ sorbents and recovery. Core-shell Fe₃O₄/SiO₂ sorbents, composed of magnetic ferrite cores enveloped by a silica shell engineered for specific lactoferrin binding, constitute a new generation of high-performing functional adsorbents. Surface modification with tailored silane derivatives ensures colloidal stability while introducing recognition sites that promote selective protein interaction under physiological conditions, thereby increasing both binding specificity and recovery yield.

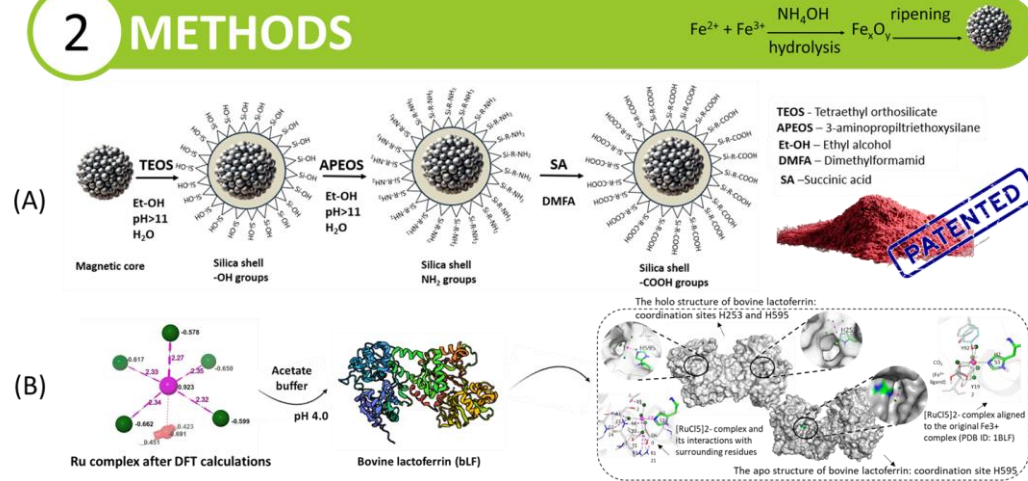
2 METHODS



3 RESULTS



2 METHODS



4 DISCUSSION

Magnetic carriers enabled efficient, field-assisted separation while preserving the structural integrity of lactoferrin and offering potential for targeted delivery. Coordination of Ru(III) ions to specific LF residues produced spectroscopically distinct adducts with tunable stability and redox behavior, modulated by pH and competing ligands. This controllable redox response supports on-demand activation under physiological conditions. Preliminary bioassays revealed selective antimicrobial activity and maintained cell viability within relevant concentration ranges, highlighting the LF-Ru complexes as promising multifunctional biohybrid systems.

5 CONCLUSIONS

The study developed Ru(III)-lactoferrin (LF) complexes as potential anticancer agents. Ru(III) binding efficiencies to bLF ranged from 34–53%, confirming effective complex formation. Adsorption data fit the Langmuir model, indicating monolayer sorption on uniform binding sites. Structural analyses revealed metal-dependent conformational rearrangements in LF-Ru complexes. The complexes exhibited cytotoxicity against Caco-2 cells, demonstrating anticancer potential. However, limited stability under simulated gastric conditions may hinder targeted delivery, suggesting that encapsulation or carrier systems are needed to improve bioavailability and therapeutic performance.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the National Centre for Research and Development (NCBR, Poland), project "Development of a Preparative Method for the Isolation of Biologically Active Lactoferrin", no. LIDER13/0252/2022. Oleksandra Pryszcempa and Paweł Pomastowski are members of the Toruń Center of Excellence "Towards Personalized Medicine" operating under the program "Initiative of Excellence – Research University" Tetiana Dyrda-Terniak is a member of Emerging Fields "Cells as Experimental platforms and bioFACtories (CEFACT)".

1 INTRODUCTION

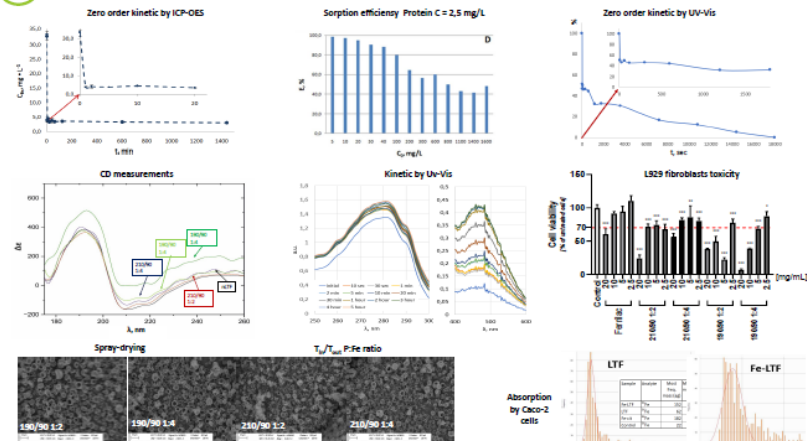


Lactoferrin (LF) is a multifunctional glycoprotein exhibiting antimicrobial, antioxidant, and immunomodulatory activities, widely explored for applications in nutrition and health care. Despite its high biological potential, LF is structurally sensitive to processing conditions, particularly during spray drying, where heat and shear stress lead to partial denaturation, aggregation, and loss of metal-binding capacity. Conventional stabilization strategies, such as the addition of sugars or polysols, often protect the protein but compromise its addition and functional concentration.

Drying techniques as methods of encapsulation

- Spray drying**
A fast and efficient encapsulation method on an industrial scale
- Lyophilization**
A low-temperature method that preserves biological activity
- Shielding materials**
Carbohydrates and polymers as protein stabilizers during drying

2 RESULTS



3 DISCUSSION

In this study, we propose an alternative stabilization mechanism based on pre-complexation of LF with iron(III) ions. The formation of Fe(III)-LF complexes prior to drying enhances the protein's intrinsic thermostability and protects its secondary structure without the need for external stabilizers. Spectroscopic analyses confirmed the preservation of α -helical motifs and metal-binding domains, while calorimetric data indicated a significant increase in denaturation enthalpy. The resulting powders retained the characteristic reddish coloration of iron-bound LF and showed uniform morphology and low residual moisture. Biological evaluation revealed that the Fe(III)-LF complexes maintained antimicrobial activity and exhibited low cytotoxicity in cell culture models. Moreover, iron release studies demonstrated high stability under neutral conditions and controlled desorption in acidic environments, reflecting potential for targeted bioavailability in the gastrointestinal tract.

4 CONCLUSIONS

This work demonstrates a simple yet effective method for producing thermally stable and bioactive LF powders suitable for use in functional foods, dietary supplements, and pharmaceutical formulations. By integrating the concepts of coordination chemistry and genetic process engineering, the presented approach offers a scalable and sustainable pathway to preserve the natural functions of lactoferrin while enhancing its industrial applicability for robust LF powder manufacture compatible with downstream biomedical applications.



ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Foundation for Polish Science Proof of Concept project entitled: "Development of a technology for stabilizing lactoferrin with iron ions in the process of high-efficiency spray drying" no. FENG.02.07-IP.03-0044/23". Oleksandra Przychacka and Pawel Pomastowski are members of the Toruń Center of Excellence "Towards Personalized Medicine" operating under the program "Institutive of Excellence – Research University".



Drying techniques as methods of encapsulation



Spray drying

A fast and efficient encapsulation method on an industrial scale



Lyophilization

A low-temperature method that preserves biological activity

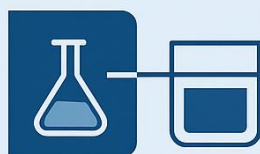


Shielding materials

Carbohydrates and polymers as protein stabilizers during drying



announces the launch of a **dedicated, state-of-the-art production line for lactoferrin**



EXTRACTION
& PURIFICATION



LACTOFERRIN
≥98% PURITY



A breakthrough for European industry.

Polmlek Sp. z o.o. Prezentacja Projektu Laktoferyna - Superfood Factory

GRUPA POLMLEK
1,54 tys. subskrybentów

Subskrybuj

👍 4

🗨️

🔗 Udostępnij

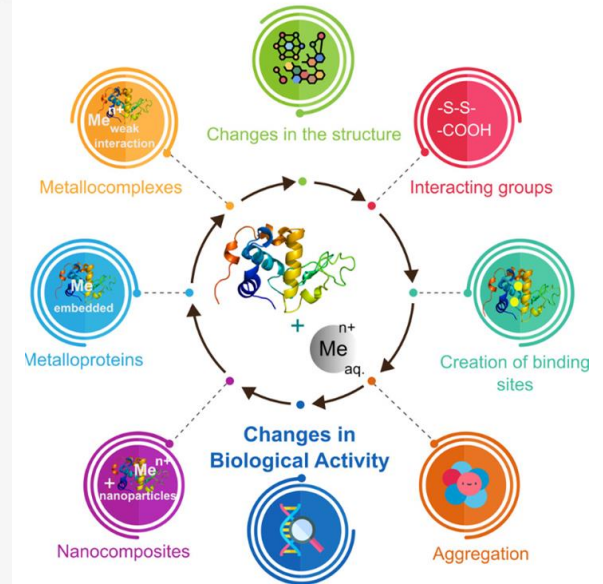
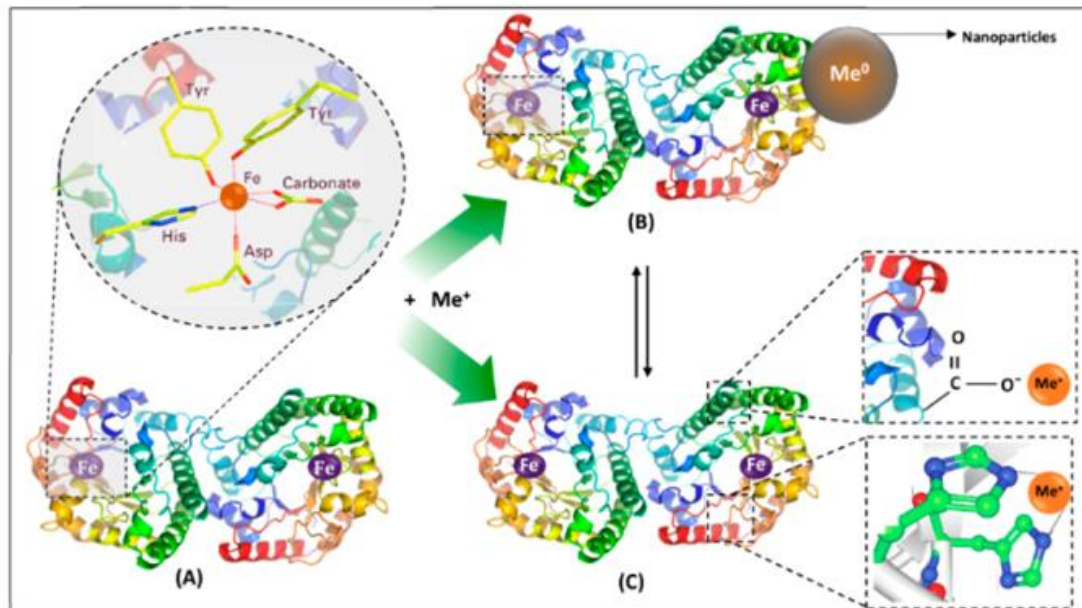
⋮

<https://www.youtube.com/watch?v=WYi6Agn2Oo8>

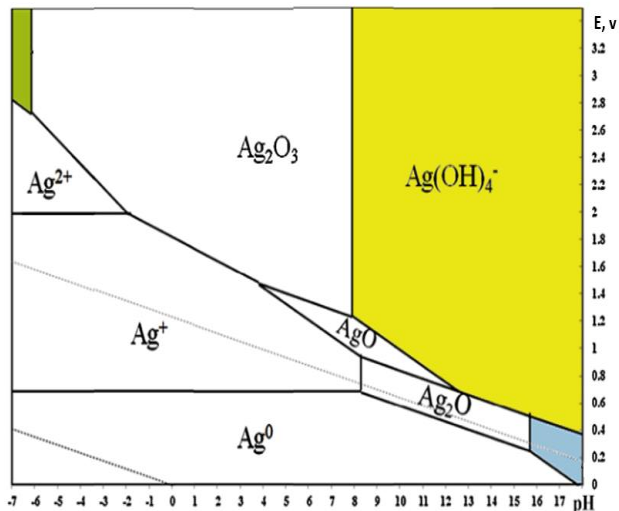


Grupa POLMLEK ogłasza uruchomienie dedykowanej, linii produkcyjnej laktoferyny (09_2025) 28

Figure 2. Consequences of metal–protein interactions: (A) metalloproteins, (B) nanoparticles, and (C) metallocomplexes; 2A—carbonate binding site of LTF as a metalloprotein; 2B—formed nanoparticles as a result of interaction of LTF with a metal ion; 2C—metallocomplexes formed by weak electrostatic and sandwich interactions; B and C can form a nanocomposite.



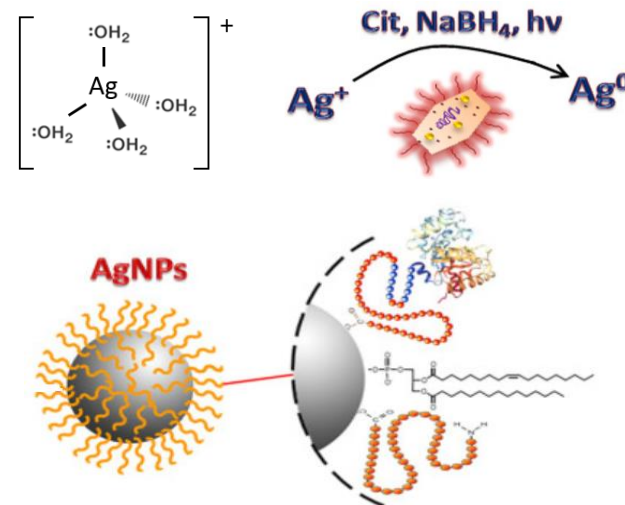
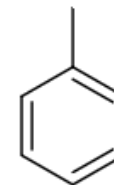
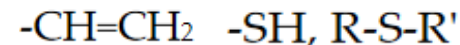
Aktywność biologiczna:
przeciwbakteryjna, przeciwgrzybicza,
bakteriobójcza
wysoka aktywność cytotoksyczna
Nie stwierdzono powszechnie utrwalonej
oporności patogennych bakterii na srebro

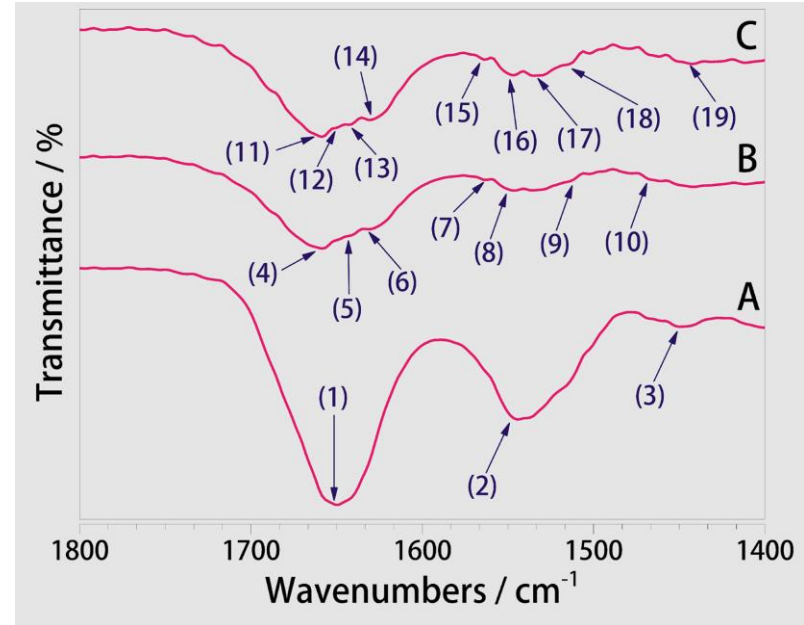
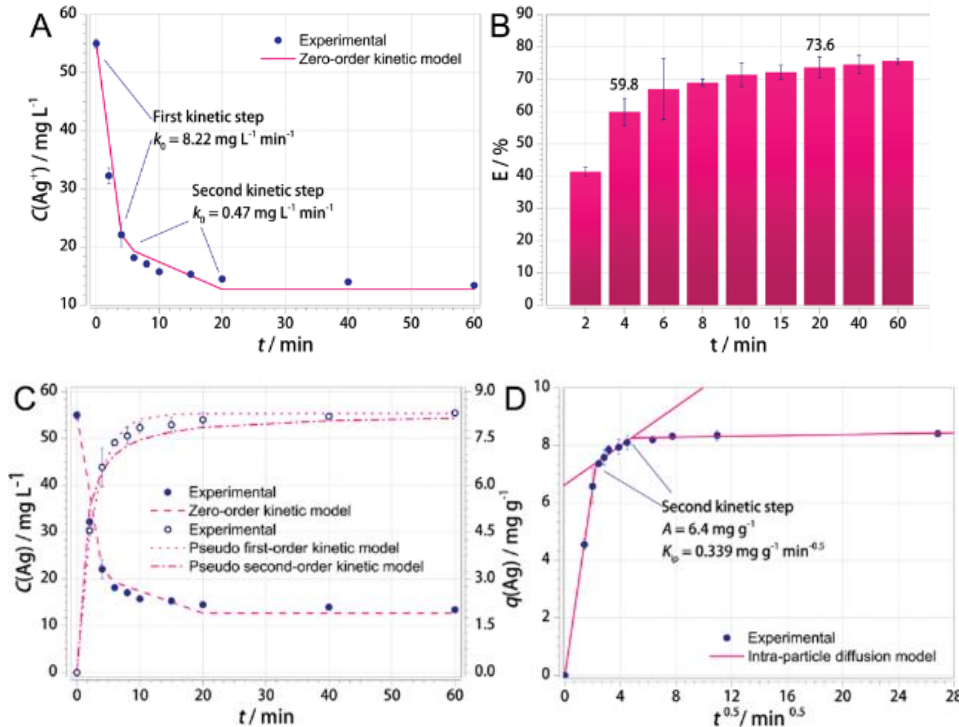


Teoria twardych i miękkich kwasów i zasad
Lewisa (HSAB):

Ag^+ – miękki kwas (niski stopień
utlenienia)

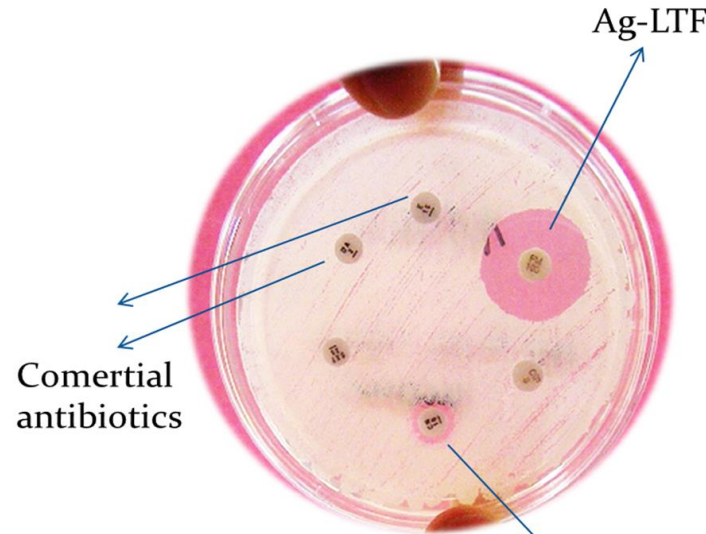
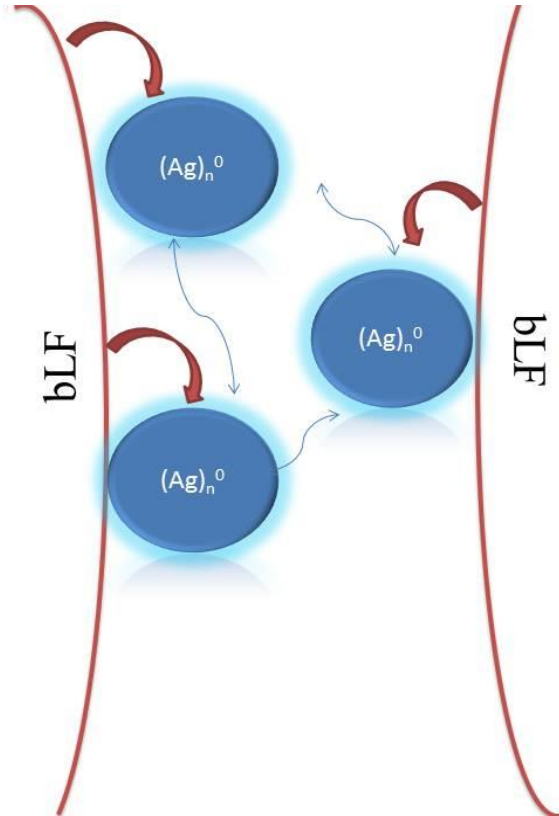
Największe powinowactwo do:





Etapy kinetyczne sorpcji jonów srebra przez laktoferynę oraz wartości stałych szybkości wyznaczone z wykorzystaniem (A) modelu kinetyki zerowego rzędu. Następnie (B) przedstawia efektywność sorpcji jonów Ag^+ przez laktoferynę, (C) dane eksperymentalne wraz z dopasowaniem modeli pseudo-pierwszego i pseudo-drugiego rzędu, a (D) wykres(y) modelu dyfuzji wewnątrzcząsteczkowej. Słupki błędów oznaczają odchylenia standardowe ($n = 3$).

Widma FTIR natywnej bLF – proces wiązania (A) oraz widma po związaniu srebra w funkcji czasu (B) po 5 i 20 min reakcji (20).
Legenda: (1) 1649.17 cm^{-1} , (2) 1544.46 cm^{-1} , (3) 1444.63 cm^{-1} , (4) 1658.39 cm^{-1} , (5) 1639.95 cm^{-1} , (6) 1628.55 cm^{-1} , (7) 1562.36 cm^{-1} , (8) 1548.26 cm^{-1} , (9) 1502.14 cm^{-1} , (10) 1465.25 cm^{-1} , (11) 1659.40 cm^{-1} , (12) 1649.45 cm^{-1} , (13) 1641.50 cm^{-1} , (14) 1628.23 cm^{-1} , (15) 1564.58 cm^{-1} , (16) 1547.34 cm^{-1} , (17) 1534.74 cm^{-1} , (18) 1515.51 cm^{-1} , (19) 1440.40 cm^{-1} .



Antibiogram of MRSA

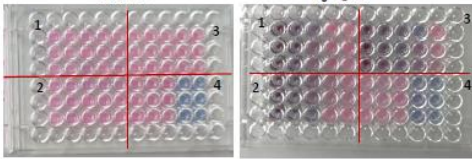
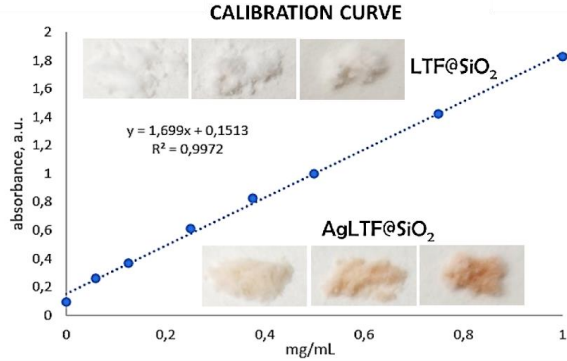
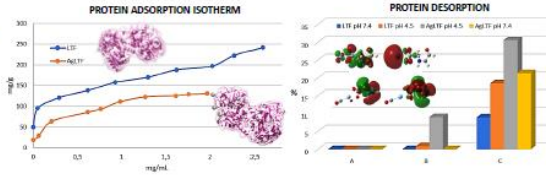
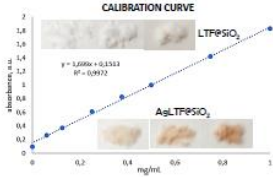
Zn-CN

Lokalizacja najwyższego (HOMO) i najniższego (LUMO) orbitalu molekularnego (MO) dla Ag^+ związanego z: (A) grupami karboksylowymi Glu 555, (B) grupami karboksylowymi Asp 509, (C) pierścieniem imidazolowym His 420 oraz (D) grupą tiolową Cys 502. Dodatnie obszary MO przedstawiono na czerwono, a ujemne na zielono. Atomy w różnych kolorach (węgiel: szary, srebro: jasnoniebieski, azot: ciemnoniebieski, tlen: czerwony, wodór: biały, siarka: żółty).

1 INTRODUCTION

Combat-related wounds are highly prone to infections with multidrug-resistant (MDR) pathogens, notably carbapenem- and colistin-resistant *Klebsiella pneumoniae*, which severely compromise treatment outcomes. The ongoing war in Ukraine has intensified this medical challenge by increasing the incidence of MDR infections in injured military personnel. To develop and evaluate silica-based nanocomposites functionalized with silver-modified lactoferrin (Ag-LTF) as potential bioactive wound dressings that combine antimicrobial efficacy with regenerative potential. Silica acts as a biocompatible carrier that enhances stability and enables sustained release. This study examines the synthesis and antibacterial performance of LTF- and Ag-LTF-silica composites against clinically relevant and MDR bacterial isolates from Ukrainian military wound infections.

2 RESULTS



The 96-well plates photos of antibacterial experiment
1 - *S. aureus* 29213, 2 - *S. aureus* 1026, 3 - *E. coli* 39876, 4 - Positive and negative controls

| Bacterial strain | Ag1.1 | | Ag1.2 | | Ag1.3 | |
|----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Total composite | Protein content | Total composite | Protein content | Total composite | Protein content |
| <i>K. pneumoniae</i> 30081 | >27,5 | >2,5 | 6,25 | 1,25 | 0,47 | 0,15 |
| <i>K. pneumoniae</i> 1705 | >27,5 | >2,5 | 6,25 | 1,25 | 0,94 | 0,31 |
| <i>K. pneumoniae</i> P3 | >27,5 | >2,5 | >12,5 | >2,5 | 0,94 | 0,31 |
| <i>E. coli</i> 39876 | 13,75 | 1,25 | 3,13 | 0,63 | 0,47 | 0,15 |
| <i>P. aeruginosa</i> P43 | 6,88 | 0,63 | 1,56 | 0,31 | 0,94 | 0,31 |
| <i>S. aureus</i> 29213 | 13,75 | 1,25 | 6,25 | 1,25 | 1,88 | 0,63 |
| <i>S. aureus</i> 1026 | 13,75 | 1,25 | 6,25 | 1,25 | 1,88 | 0,63 |
| <i>E. faecalis</i> 51575 | 13,75 | 1,25 | 3,13 | 0,63 | 1,88 | 0,63 |
| <i>E. faecalis</i> P1 | 13,75 | 1,25 | 3,13 | 0,63 | 3,75 | 1,25 |

MIC values for AgLTF@SiO₂ composites

3 DISCUSSION

Nanocomposites were synthesized by adsorbing native lactoferrin (LTF) or Ag-LTF onto silica particles. Protein loading was quantified spectrophotometrically. Antibacterial activity was assessed against a broad range of Gram-positive and Gram-negative bacteria, including MDR isolates obtained from wound infections in Ukrainian soldiers. Bacterial growth inhibition was determined using resazurin-based microdilution assays to establish minimum inhibitory concentrations (MICs). LTF-silica composites alone exhibited negligible antibacterial activity, confirming the limited potency of immobilized native lactoferrin. In contrast, Ag-LTF-silica formulations demonstrated strong, concentration-dependent inhibition of *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, and *Pseudomonas aeruginosa*, including MDR strains. Although *Klebsiella pneumoniae* isolates were less susceptible, the data revealed a synergistic interaction between lactoferrin and silver, with silica providing stability and sustained bioactivity.

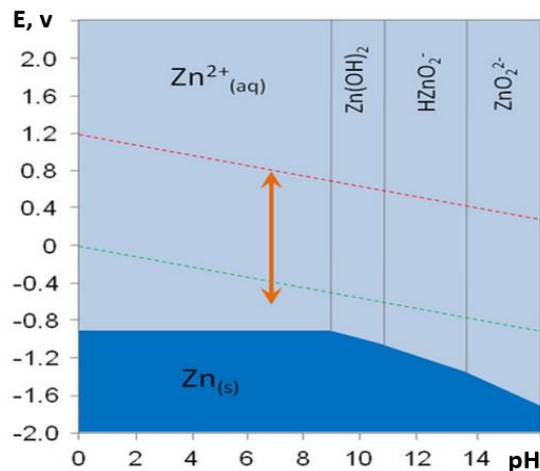
4 CONCLUSIONS

The study highlights the promise of Ag-LTF-silica nanocomposites as multifunctional materials for wound healing, combining broad-spectrum antimicrobial action with lactoferrin's pro-regenerative properties. Ongoing research focuses on evaluating cytotoxicity and regenerative performance to support their future clinical application in battlefield medicine, where rapid infection control is crucial.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Polish National Agency for Academic Exchange (NAWA), grant BPA/GRN/2024/1/00037, "Urgent study of the wound microbiome of Ukrainian soldiers, determination of their antibiotic resistance, and development of antimicrobial silica-based dressing." Oleksandra Pryszcpepa, Ewelina Sibinska, Michał Zloch and Paweł Pomostowski are members of the Toruń Center of Excellence "Towards Personalized Medicine" under the Initiative of Excellence - Research University program.

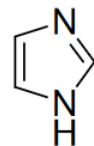
Aktywność biologiczna:
neuromodulacja, immunomodulacja,
wzrost i proliferacja komórek,
stabilizacja struktury białek, mediator sygnalizacji,
właściwości przeciwbakteryjne,
kofaktor enzymatyczny (np. obniża pKa wody)



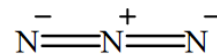
Teoria twardych i miękkich kwasów i zasad Lewisa (HSAB):

Zn²⁺ – kwas graniczny (średni stopień utlenienia)

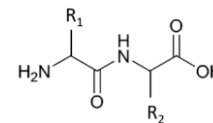
Największe powinowactwo do:



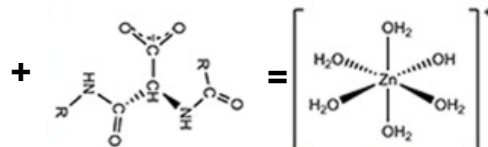
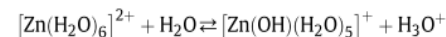
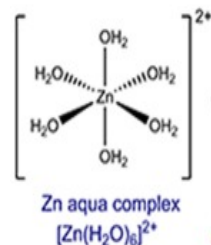
grupa
imidazolowa

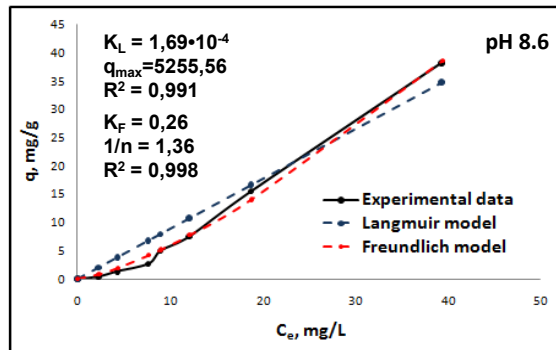
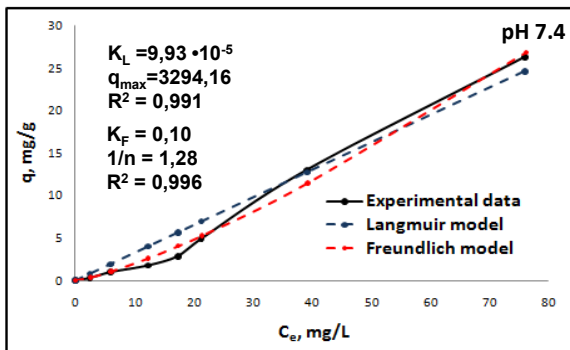
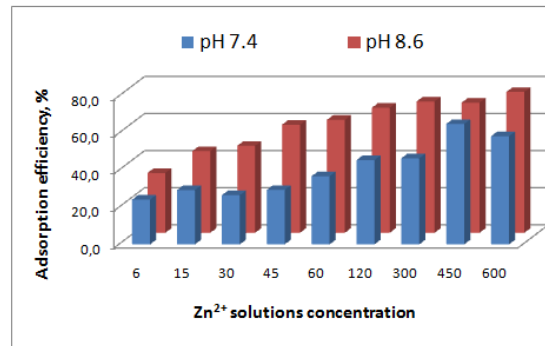
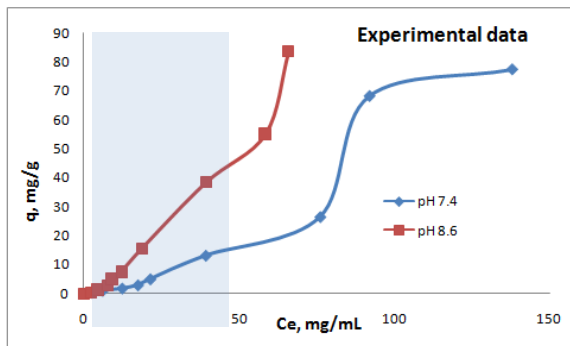


grupa
guanidynowa

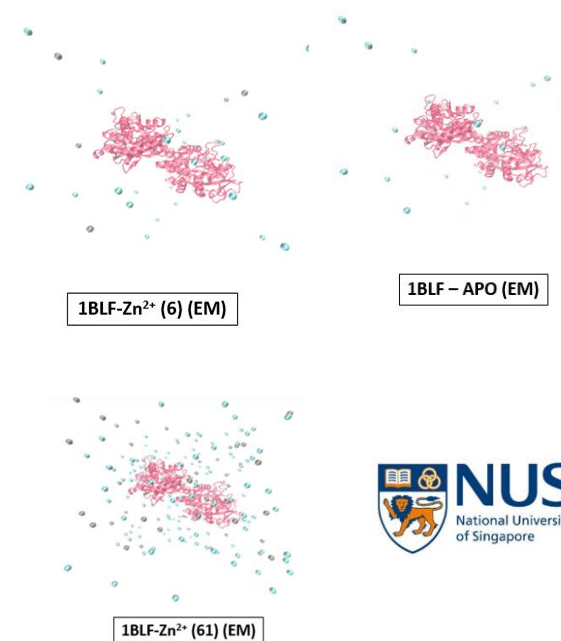


azot wiązania
peptydowego





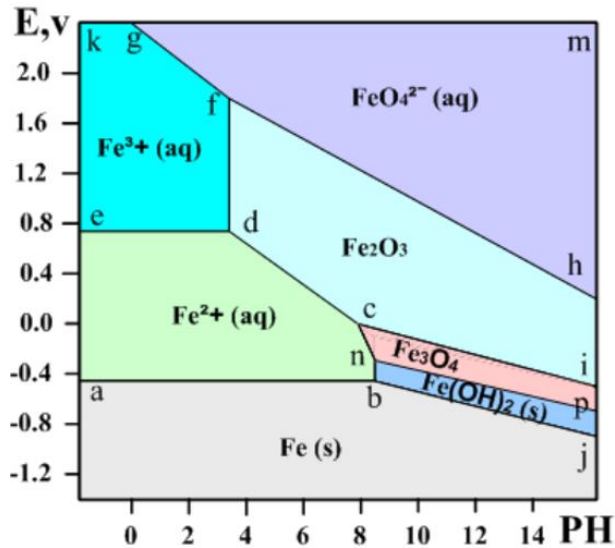
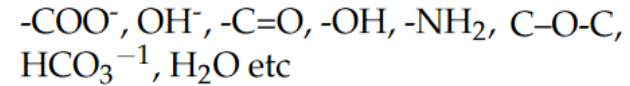
Wyniki – struktury po minimalizacji energii – 1BLF



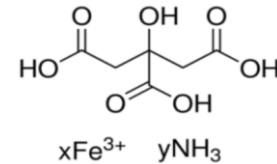
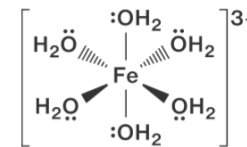
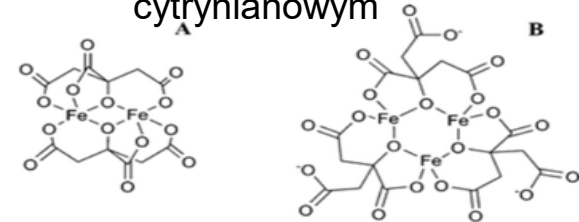
*Wykonano we współpracy z National University of Singapore, zespół prof. R. M.W. Wong

Aktywność biologiczna:
 transport i magazynowanie tlenu, produkcja energii,
 detoksykacja,
 ochrona komórek, obrona gospodarza, synteza
 neuroprzekaźników, udział w biosyntezie

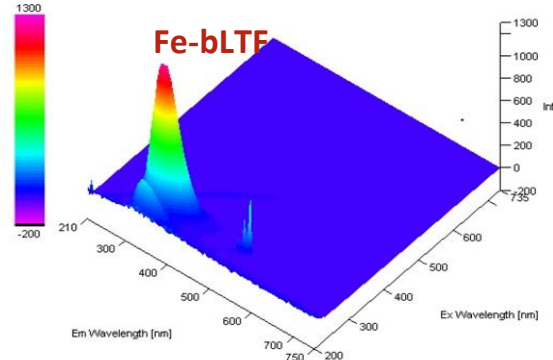
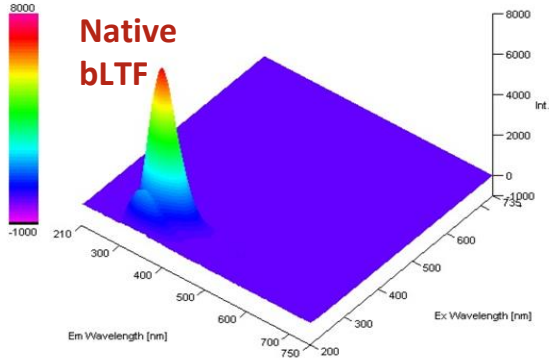
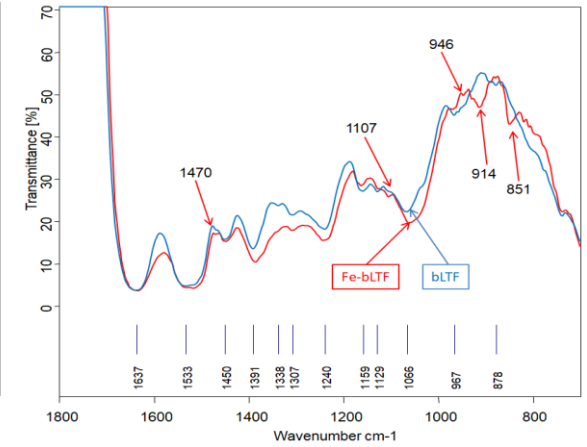
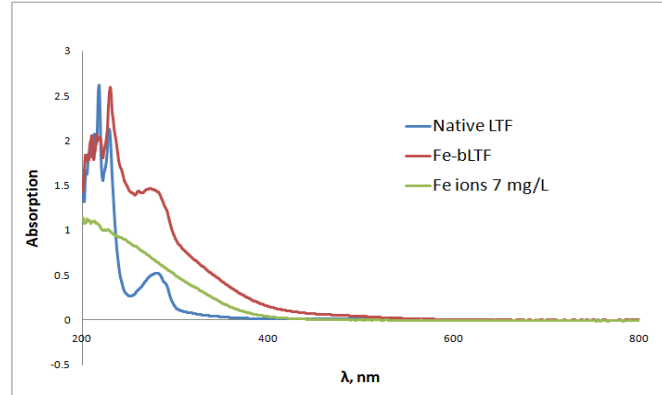
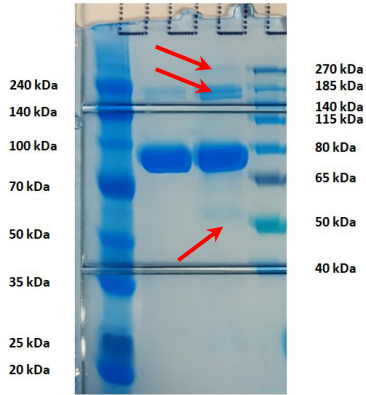
Teoria twardych i miękkich kwasów i zasad Lewisa (HSAB):
 Fe^{3+} – twardy kwas (wysoki stopień utlenienia)
 Największe powinowactwo do:



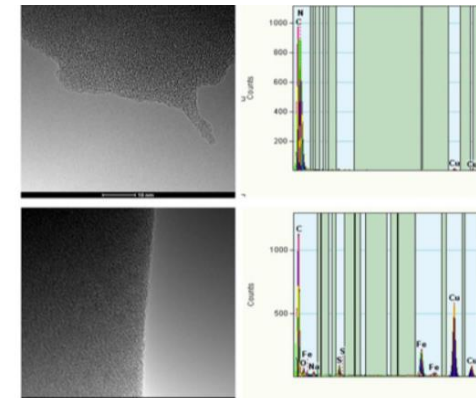
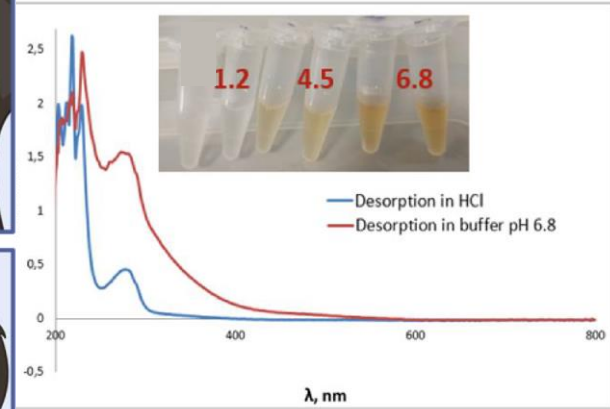
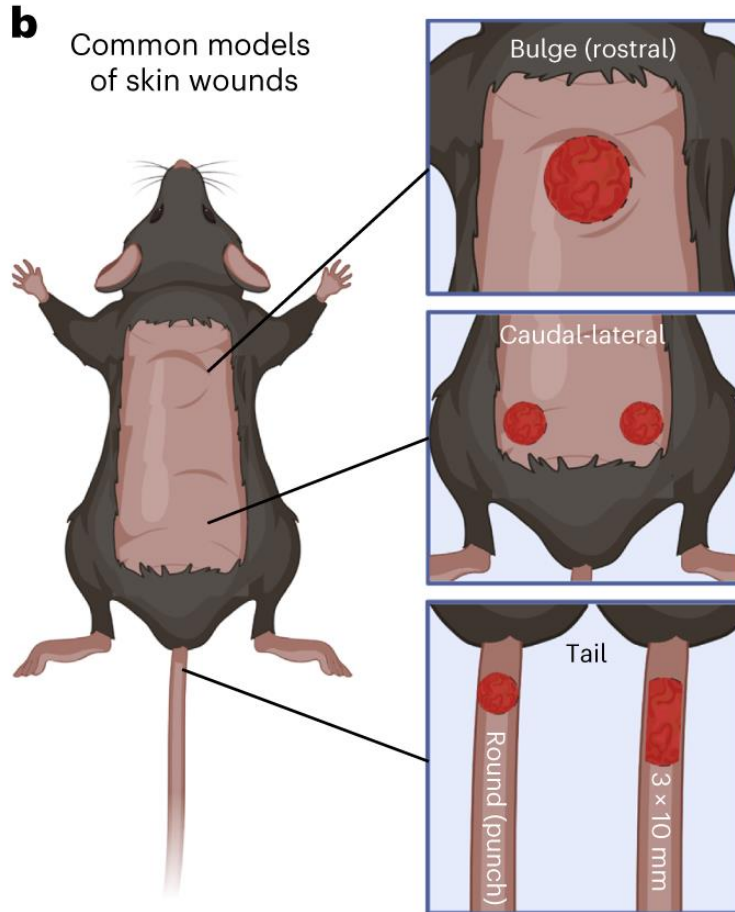
Kompleks z jonem
 cytrynianowym



Fe - LTF



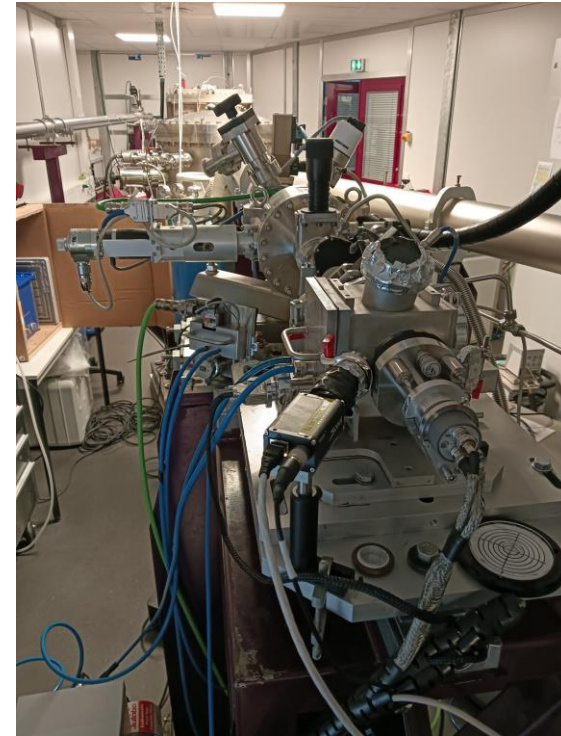
| FTIR | | |
|--------------------------------|-------------|--------|
| Assignment | Native bLTF | Fe-LTF |
| Amide I band | 1637 | 1634 |
| Amide II | 1533 | 1531 |
| δas(CH ₃) | 1472 | 1470 |
| δ(CH ₂) | 1450 | 1448 |
| Asp, Glu vs(COO ⁻) | 1391 | 1386↑ |
| Amide III | 1338 | - |
| | 1307 | 1309 |
| | 1240 | 1246↑ |



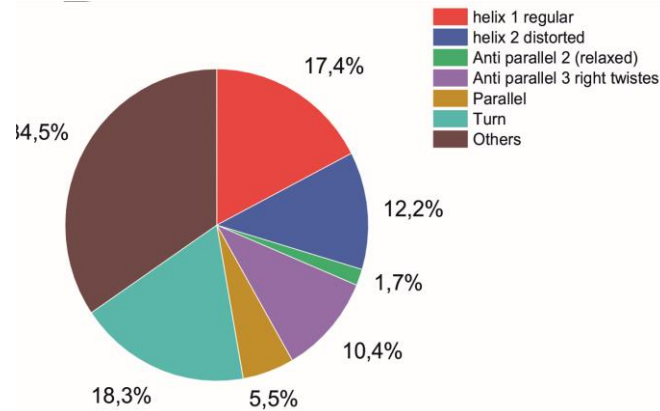
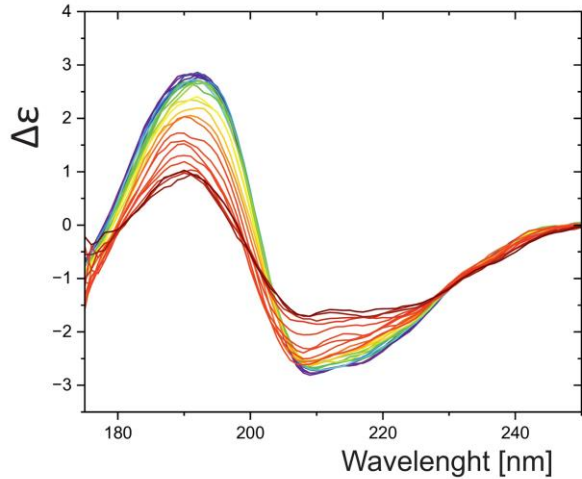
Spektroskopia dichroizmu kołowego z promieniowaniem synchrotronowym (SRCD) jest zaawansowaną metodą badania struktur białek w biologii strukturalnej, oferującą istotne przewagi nad konwencjonalnymi technikami laboratoryjnymi.

Zalety SRCD:

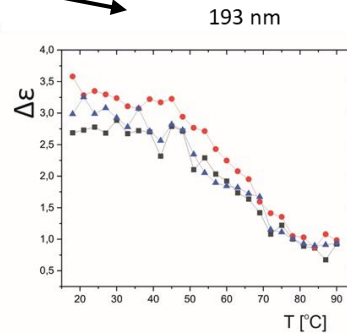
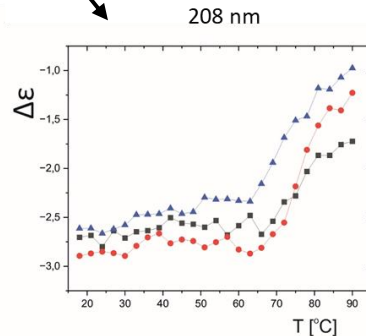
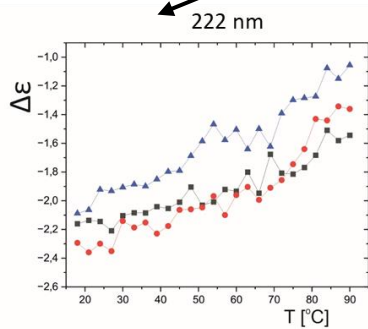
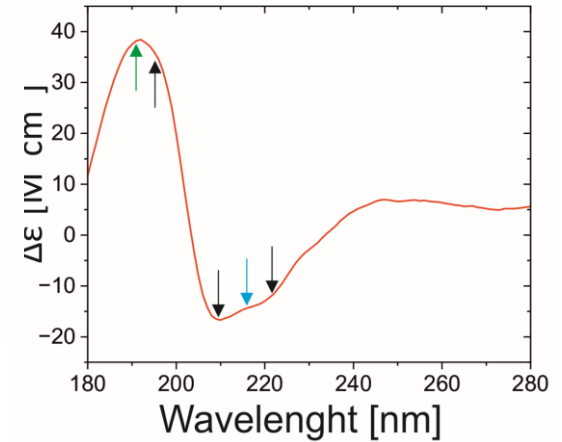
- dane w próżniowym ultrafiolecie (VUV) dla niższych długości fali,
- widma o wyższym stosunku sygnału do szumu (mniej materiału białkowego),
- możliwość dokładnego wykrywania drobnych zmian,
- lepsze możliwości pomiaru próbek w obecności dodatków (bufory, detergenty, lipidy).



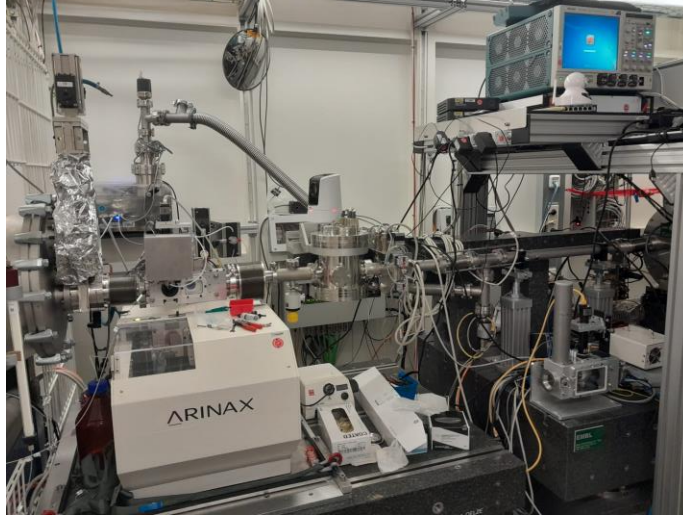
Stanowisko dichroizmu kołowego (DISCO) w synchrotronie SOLEIL, Paryż, Francja 39



Udział struktur drugorzędowych w strukturze krystalicznej obliczony algorytmem BeStSel.



Widmo SRCD Fe-LTF z zaznaczonymi pikami charakterystycznymi dla elementów struktury drugorzędowej (czarne strzałki – helisy α , niebieska – struktury β , czarna – struktura nieuporządkowana).



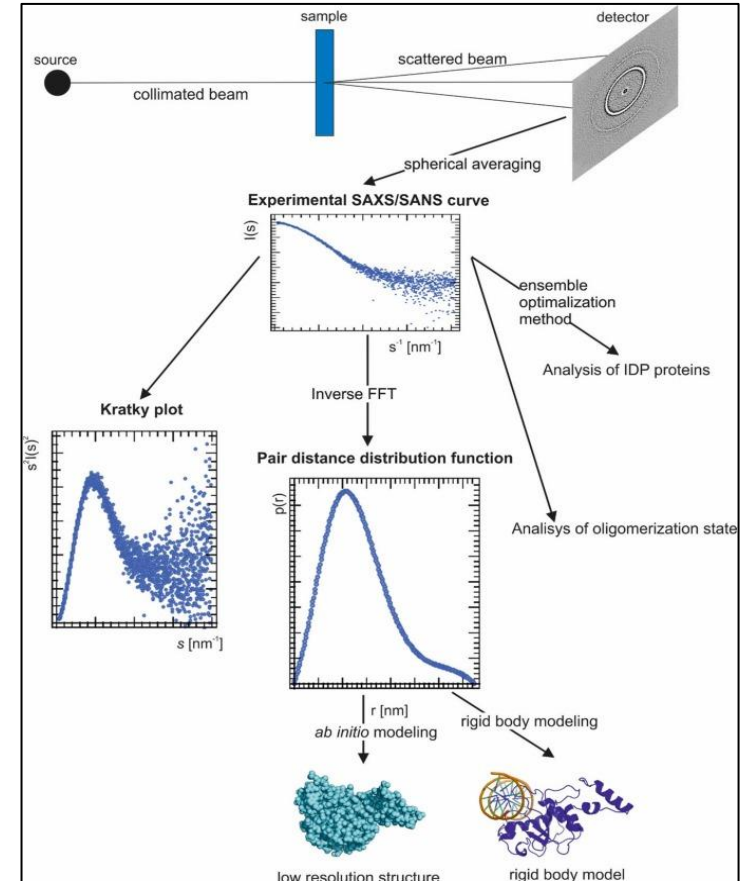
Linia P12 w synchrotronie PETRA III, Hamburg, Niemcy

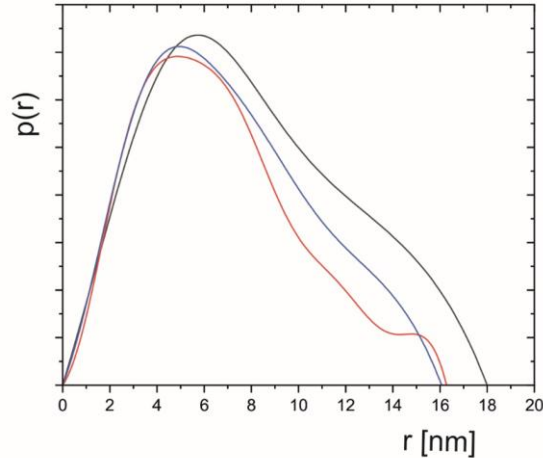
SAXS – dlaczego?

- umożliwia analizę białka w roztworze,
- pozwala wyznaczyć promień bezwładności (R_g), masę cząsteczkową, objętość i kształt,
- umożliwia uzyskanie struktury niskiej rozdzielczości.

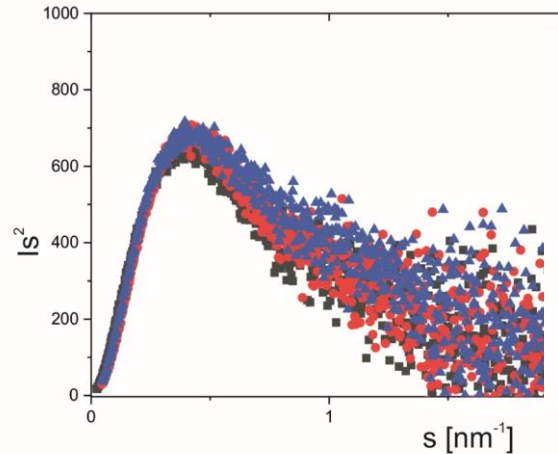
Promieniowanie synchrotronowe – dlaczego?

Bardzo intensywne źródło promieniowania X o silnej kolimacji; możliwe pomiary czasorozdzielcze (rozdzielczość rzędu kilku milisekund).



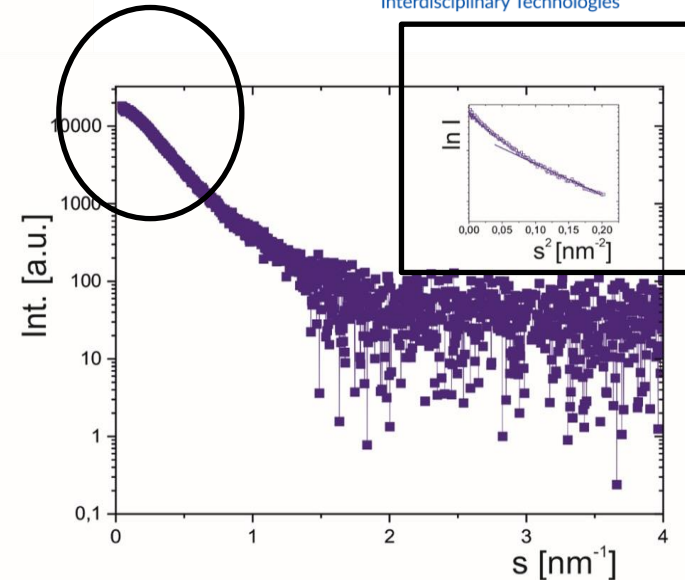


Funkcja rozkładu odległości par $p(r)$ dla różnych form Fe-LTF

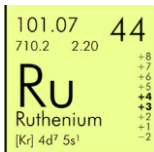


Wykres Kratky'ego dla Fe-LTF potwierdza w pełni uporządkowaną strukturę – w kontraście do kontrolnej hLTF

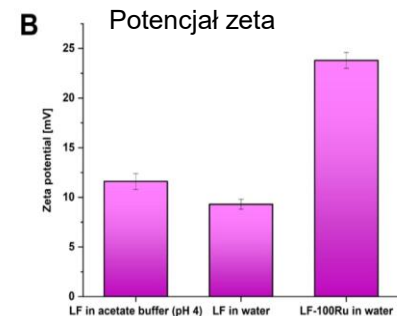
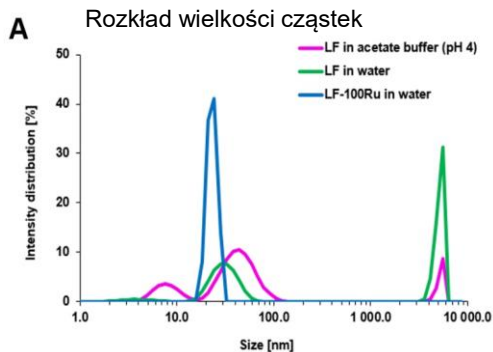
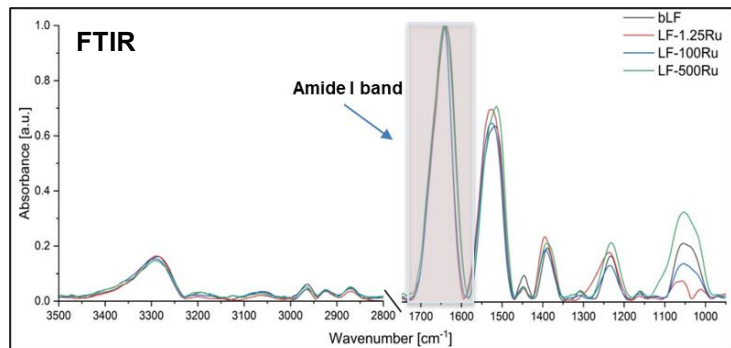
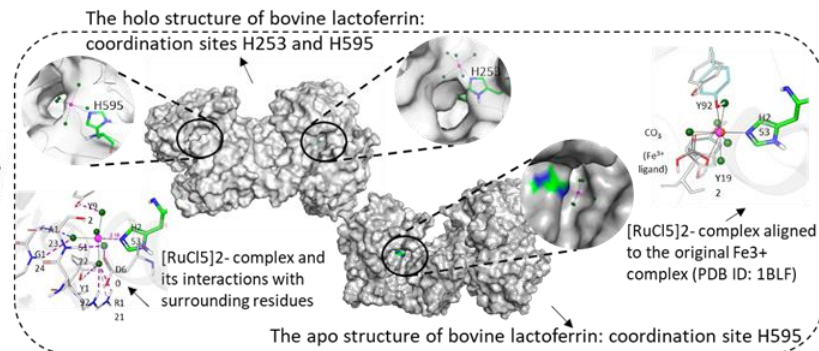
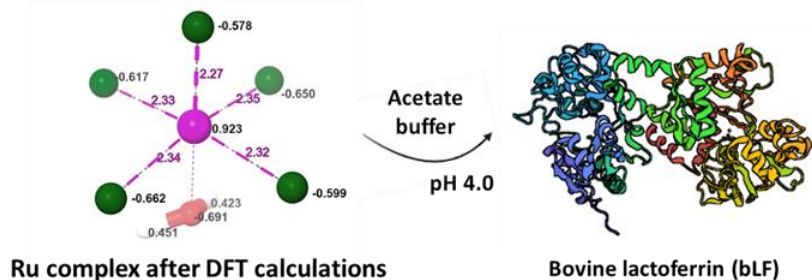
Struktura niskiej rozdzielczości Fe-LTF wyznaczona metodą ab initio



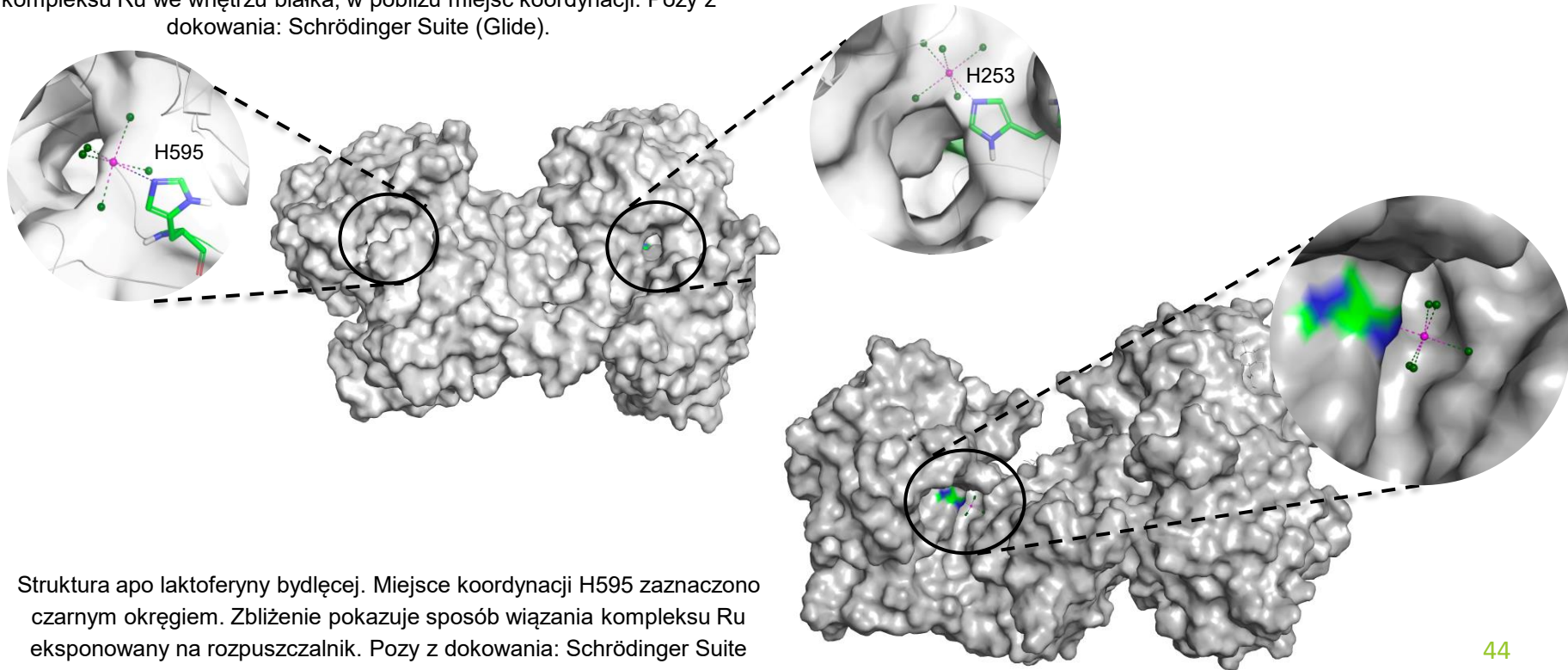
Krzywa SAXS dla Fe-LTF (1 mg/mL) oraz odpowiadający wykres Guiniera (wstawka)



Niższa toksyczność dla organizmu niż kompleksy na bazie Pt;
wysoka selektywność wobec komórek nowotworowych;
wiele stanów utlenienia (od -2 do +8): szerokie spektrum mechanizmów przeciwnowotworowych.



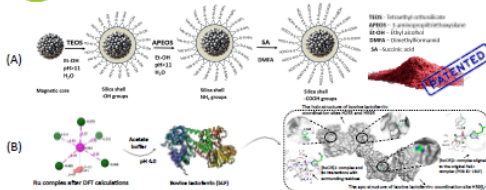
Struktura holo laktoferyny bydłowej. Miejsca koordynacji H253 i H595 zaznaczono czarnymi okręgami. Zbliżenie pokazuje wiązanie kompleksu Ru we wnętrzu białka, w pobliżu miejsc koordynacji. Pozy z dokowania: Schrödinger Suite (Glide).



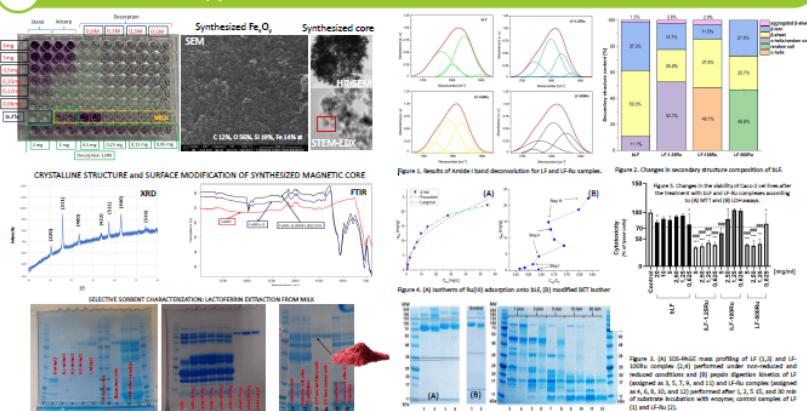
1 INTRODUCTION

We develop two complementary lactoferrin (LF)-based modalities: (A) ruthenium(III)-LF coordination complexes as redox-responsive adducts with prospective anticancer and antimicrobial utility and (B) high-yield batch isolation of lactoferrin using magnetically recoverable core-shell Fe₃O₄/SiO₂ sorbents and recovery. Core-shell Fe₃O₄/SiO₂ sorbents, composed of magnetic ferrite cores enveloped by a silica shell engineered for specific lactoferrin binding, constitute a new generation of high-performance functional adsorbents. Surface modification with tailored silane derivatives ensures colloidal stability while introducing recognition sites that promote selective protein interaction under physiological conditions, thereby increasing both binding specificity and recovery yield.

2 METHODS



3 RESULTS



4 DISCUSSION

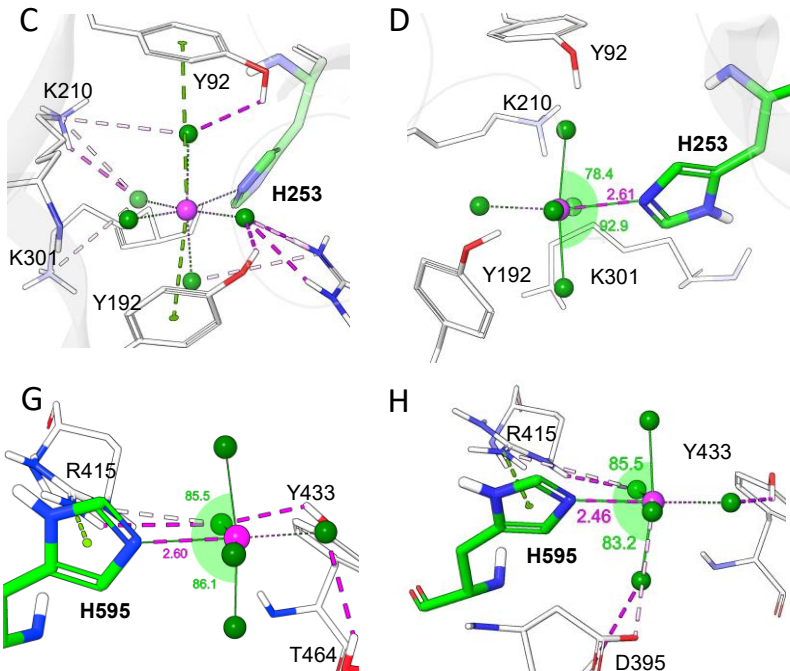
Magnetic carriers enabled efficient, field-assisted separation while preserving the structural integrity of lactoferrin and offering potential for targeted delivery. Coordination of Ru(III) ions to specific LF residues produced spectroscopically distinct adducts with tunable stability and redox behavior, modulated by pH and competing ligands. This controllable redox response supports on-demand activation under physiological conditions. Preliminary bioassays revealed selective antimicrobial activity and maintained cell viability within relevant concentration ranges, highlighting the LF-Ru complexes as promising multifunctional biobiohybrid systems.

5 CONCLUSIONS

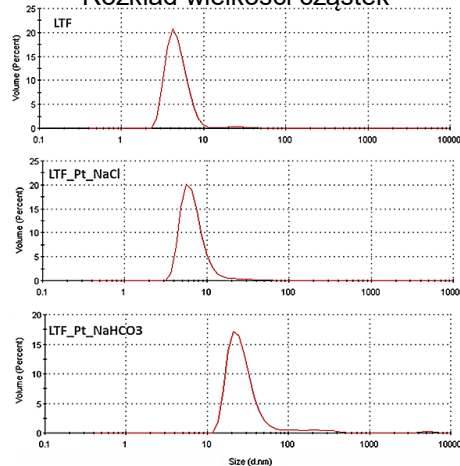
The study developed Ru(III)-lactoferrin (LF) complexes as potential anticancer agents. Ru(III) binding efficiencies to bLF ranged from 54–55%, confirming effective complex formation. Adsorption data fit the Langmuir model, indicating monolayer sorption on uniform binding sites. Structural analyses revealed metal-dependent conformational rearrangements in LF-Ru complexes. The complexes exhibited cytotoxicity against Caco-2 cells, demonstrating anticancer potential. However, limited stability under simulated gastric conditions may hinder targeted delivery, suggesting that encapsulation or carrier systems are needed to improve bioavailability and therapeutic performance.

ACKNOWLEDGMENTS

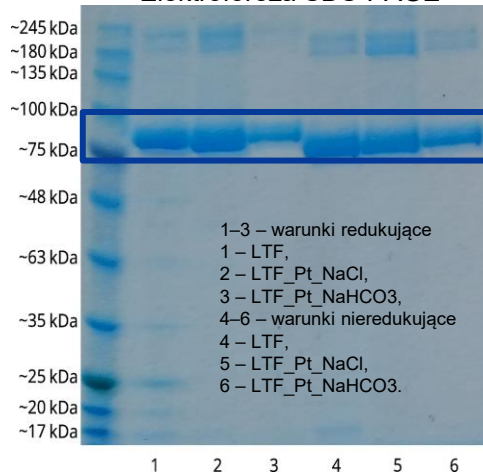
This work was supported by the National Centre for Research and Development (NCBR, Poland) project "Development of a Preparative Method for the Isolation of Biologically Active Lactoferrin", no. LIDER13/0282/2022. Oleksandra Przyshchepa and Paweł Pomastowski are members of the Toruń Center of Excellence "Advanced Personalized Medicine" operating under the program "Initiative of Excellence - Research University" Tetiana Dyrda-Terniuk is a member of Emerging Fields "Cells as Experimental platforms and bioActive" (CEPACT).



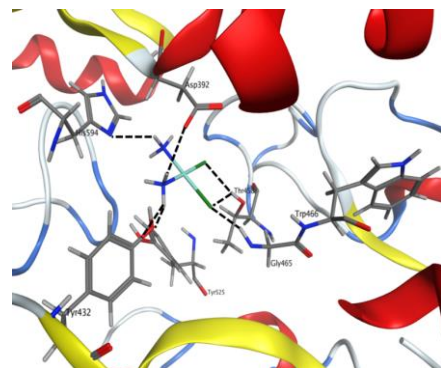
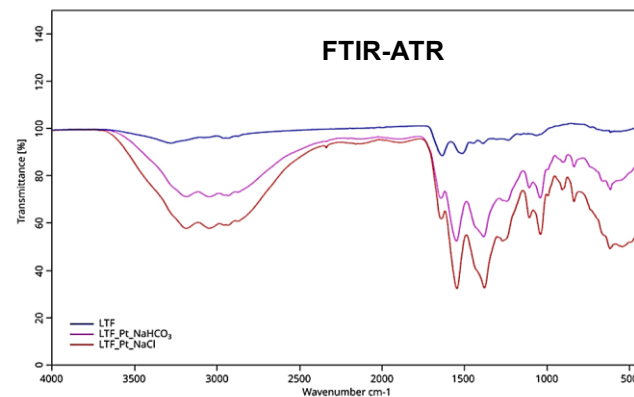
Rozkład wielkości cząstek



Elektroforeza SDS-PAGE



FTIR-ATR



| Reszty aminokwasowe | Przed wiązaniem CPT | Po związaniu CPT | Zmiana (%) | Oddziaływanie |
|---------------------|---------------------|------------------|------------|-------------------------|
| Asp392 | 1.70 | 2.52 | -48.2 | N...O HB |
| Tyr432 | 3.04 | 2.01 | 33.9 | NH...O HB |
| Thr458 | 2.63 | 2.36 | 10.3 | OH...Cl ⁻ HB |
| Gly465 | 2.41 | 2.12 | 12.1 | NH...Cl ⁻ HB |
| Trp466 | 5.06 | 4.75 | 6.1 | |
| Tyr525 | 3.75 | 2.48 | 33.9 | NH...O HB |
| His594 | 2.99 | 2.65 | 11.4 | NH...N HB |

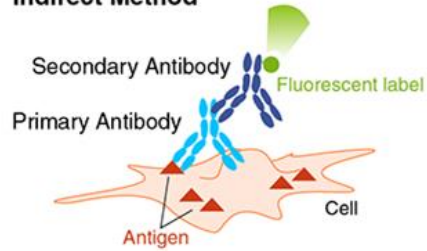
bliski kontakt

| | Natywna bLTF | LTF-Pt_NaCl | LTF-Pt_NaHCO ₃ |
|--|--------------|-------------|---------------------------|
| drg. rozciągające O-H i N-H | 3282 | - | - |
| sym./asym. drg. rozciągające C-H (alifatyczne i aromatyczne) | | 2954 | 2954 |
| | | 2934 | 2934 |
| | | 2875 | 2875 |
| Amid I | 1635 | 1643 | 1643 |
| Amid II | 1514 | 1550 | 1550 |
| δ _{as} (CH ₃) | 1448 | - | - |
| Amid III | 1388 | 1385 | 1385 |
| | 1309 | 1270 | 1269 |
| | 1235 | 1245 | 1244 |
| Asp, Glu, v(C-O) | 1166 | - | - |
| His, v(CN), δ(CH) | - | 1109 | 1109 |
| Trp, v(NC), δ(CH), v(CC) | 1063 | - | - |
| Thr, v(C-O) | - | 1042 | 1042 |

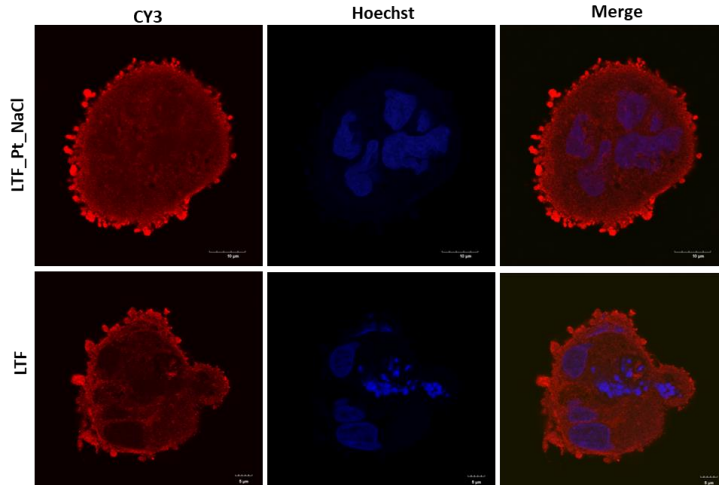
46

Kluczowe reszty aminokwasowe uczestniczące w wiązaniu CPT z laktoferyną oraz typy oddziaływań.

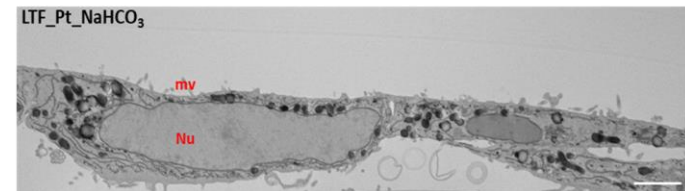
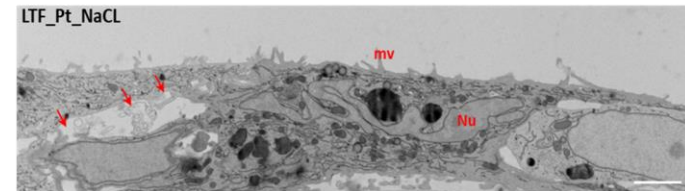
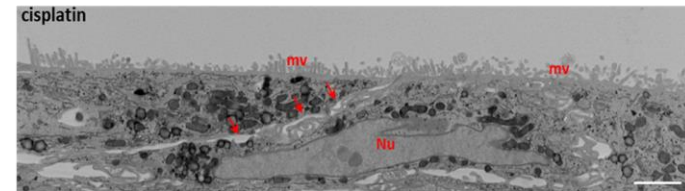
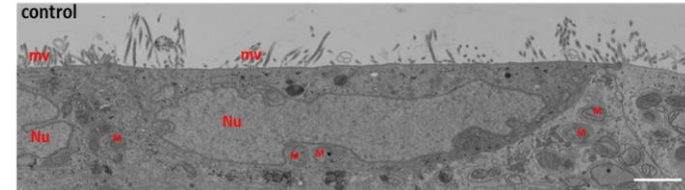
Indirect Method



Analizę wykonano z użyciem przeciwciał pierwotnych rozpoznających laktoferynę oraz przeciwciał wtórnych znakowanych fluoroforem CY3. Jądra komórkowe wybarwiono na niebiesko barwnikiem Hoechst.

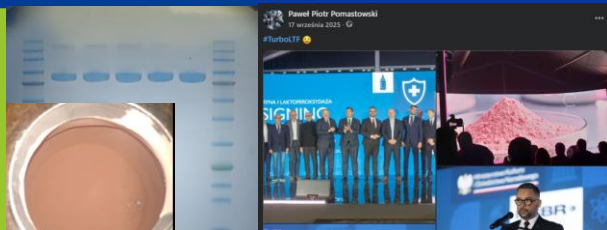


Analiza immunocytochemiczna bLTF oraz kompleksu LTF_Pt z użyciem przeciwciał anty-laktoferynowych.



Analiza ultrastrukturalna komórek Caco-2 traktowanych cisplatyną oraz kompleksami Pt-LTF, wykonana metodą transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM).

Zobaczmy na zdjęciach... 2025 z LTF



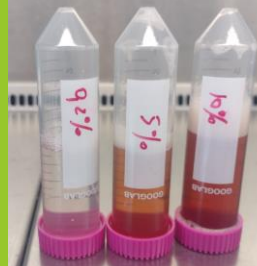
Paweł Piotr Pomastowski
17 września 2025 · G
#TurbotLF

PRIME
Bootcamp

Project partner:
Foundation for Polish Science

MATERIALS
TODAY
Family of journals

Conference 2025
June 23-26, 2025 | Sitges, Spain



URZĄD PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ

Kancelaria O



International
COLLOIDS
CONFERENCE

San Sebastián, Spain

International Colloids Conference
San Sebastián



International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijbiomac



view

Multifunctional role of Lactoferrin in metal ion interactions and biomedical applications: A review

Paweł Fijałkowski^{1,*}, Paweł Pomastowski^{1,2}, Rudi van Eldik^{3,4}, Katarzyna Rafińska¹

¹ Faculty of Chemistry, Nicolaus Copernicus University in Toruń, Gagarina 7, 87-100 Toruń, Poland
² Nicolaus Copernicus University in Toruń, Wilkosa 4, 87-100 Toruń, Poland
³ Vrije Universiteit, De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam, The Netherlands
⁴ Hagen University, Hagen, Germany

18/192
or. poczt. 203
55 | fax: (+48) 22 579 00 01
p.gov.pl | www.uprp.gov.pl

Warszawa, 2025-10-27

🌍 Міжнародна наука в дії!
🇵🇱 У рамках проєкту що фінансується Польським національним агентством академічного обміну (NAWA) 🇵🇱, наші лабораторії гостинно приймають дослідницький дует з 🇵🇱 НаУКМА – Національний університет "Києво-Могилянська академія"
🇵🇱 Професорка Ірина працює в ламінарній шафі 🇵🇱 над мікробіологічною частиною дослідження, а професорка Поліна 🇵🇱 активно дискутує з д-р Олександром 🇵🇱 щодо результатів та майбутніх планів.
Разом – до нових наукових відкриттів! 🌟
#NAWA #UMK #НаУКМА #наука #міжнароднаспівпраця #жінкивнауці 🇵🇱



Nasz znak: POTWIERDZENIE/1324065/P.453561
Wasz znak: Laktoferyna1

POTWIERDZENIE

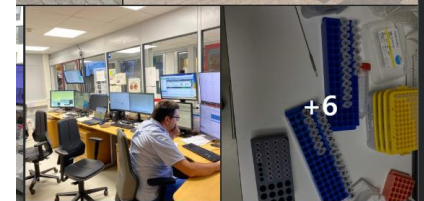
Urząd Patentowy RP stwierdza, że dnia 2025-10-27 przyjęto w formie elektronicznej wnioski o udzielenie patentu na wynalazek:

Sposób stabilizacji laktoferyny w procesie suszenia rozpyłowego

Zgłoszenie oznaczono numerem: P.453561

[WIPO ST 10/C PL453561]

Zgłaszający: **UNIwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń, Polska**



48 godzin pomiarów SAXS na linii P12 synchrotronu PETRA III w

Dziękuję za uwagę



NICOLAUS COPERNICUS
UNIVERSITY
IN TORUŃ

Centre for Modern
Interdisciplinary Technologies



NICOLAUS COPERNICUS
UNIVERSITY
IN TORUŃ
Centre for Modern
Interdisciplinary Technologies



Zadbaj o zdrowie razem z nami

Kontakt



+48 607 952 680



www.icnt.umk.pl



p.pomastowski@umk.pl



Wileńska 4, Toruń, Polska



A person wearing a blue shirt and a woven hat is shown from the chest down, picking tea leaves in a lush green field. The person's hands are visible, carefully plucking the leaves. The background is a dense field of tea bushes.

BioColl

Prezentuje

Paweł Pomastowski

Data

styczeń 2026

Miejsce

Ciechocinek