

SUROWCE NATURALNE W FARMAKOLOGII I KOSMETOLOGII

pod redakcją
Bożeny Denisow
i Mirosławy Chwil

SUROWCE NATURALNE W FARMAKOLOGII I KOSMETOLOGII

pod redakcją

Bożeny Denisow i Mirosławy Chwil

Lublin 2025

Recenzenci

prof. dr hab. Anna Malm

dr hab. Pior Sugier, prof. uczelni

Opracowanie redakcyjne

Agnieszka Brach, Justyna Jóźkiewicz

Skład i łamanie

Małgorzata Grzesiak

Projekt okładki

Małgorzata Grzesiak



Ten utwór jest dostępny na licencji

Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0

Międzynarodowa

© Copyright by Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie – Wydawnictwo, Lublin 2025

ISBN 978-83-7259-491-4 on-line

<https://doi.org/10.24326/mon.2025.16>



Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

<https://up.lublin.pl/nauka/wydawnictwo>

ark. wyd. 13,5

Rumianek pospolity (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) – tradycyjna roślina o właściwościach kosmetycznych i leczniczych

Chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) – a traditional plant with cosmetic and medicinal properties

Joanna E. Ślusarczyk  <https://orcid.org/0000-0001-8022-3244>

Zakład Biologii Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach,
ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce
e-mail: joanna.slusarczyk@ujk.edu.pl

Anna K. Kopacz-Bednarska  <https://orcid.org/0000-0003-0664-1450>

Zakład Biologii Medycznej, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach,
ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce

Streszczenie

Rumianek pospolity (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) jest jednoroczną rośliną występującą na terenie Europy i Azji. Ma długą i bogatą historię zastosowań terapeutycznych i kosmetycznych. Jako biologicznie czynne części rośliny rumianku pospolitego używane są suszone kwiaty i pozyskiwany z żywych kwiatów olejek eteryczny. Główne składniki chemiczne rumianku to: olejek eteryczny, kumaryny, glikozydy cyjanogenne, flawonoidy, salicylany, garbniki, polisacharydy. Wyciągi z *C. recutita* są stosowane jako środek przeciwbólowy, przeciwzapalny, przeciwnadciśnieniowy, wiatropędny, napotny, przeczyszczający, wspomagający pracę żołądka, uspokajający i tonizujący. Szerokie spektrum aktywności farmakologicznej

C. recutita sprawia, że roślina ta jest jedną z najważniejszych w grupie popularnych i tradycyjnych roślin leczniczych. Ze względu na swoje delikatne i hipoalergiczne działanie wyciągi rumianku używane są często jako składnik aktywny wielu kosmetyków do pielęgnacji. Ponieważ zawierają także witaminy z grupy B i witaminę C, delikatnie pielęgnują, koją i łagodzą podrażnienia. Z tego powodu rumianek jest często jednym z głównych składników kosmetyków przeznaczonych do cery wrażliwej i skłonnej do podrażnień. Znajdziemy go również często w kosmetykach dla dzieci.

Słowa kluczowe: *Chamomilla recutita* (L.) Rausch., olejek eteryczny, bisabolol, właściwości terapeutyczne i kosmetyczne, związki biologicznie czynne

*...nie ma lepszego nad rumianek ziela,
na wszelkie schorzenia i na urodę zawsze znajdzie radę...*

Hieronim Bock – duchowny i botanik

Wstęp

Rośliny o właściwościach terapeutycznych i kosmetycznych występują we wszystkich strefach klimatycznych. Na terenie naszego kraju, na stanowiskach naturalnych, również rośnie wiele znanych roślin, które są powszechnie wykorzystywane w kosmetyce i w przemyśle perfumeryjnym [Podbielkowski i Sudnik-Wójcikowska 2003]. Pozyskane z nich substancje czynne najczęściej są składnikami kremów, balsamów, szamponów i mydeł. Spośród tych roślin około 50% to byliny, 31% drzewa i krzewy, a 9% – gatunki jednoroczne. Najwięcej roślin kosmetycznych pochodzi ze zbiorowisk łąkowych [Dąbrowska i in. 2016]. Do tej grupy zaliczany jest także rumianek pospolity (*Chamomilla recutita*). Celem niniejszego przeglądu było wykazanie na podstawie dostępnej literatury, że roślina ta, zawierająca wiele związków biologicznie aktywnych, powszechnie wykorzystywana w medycynie tradycyjnej w wielu krajach ze względu na potencjalne korzyści zdrowotne, ma także zastosowanie w produktach kosmetycznych.

Charakterystyka botaniczna

Rumianek pospolity (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) należy do rodziny astrowatych. W stanie dzikim występuje w Europie oraz na terenie Uralu, Kaukazu, Azji Mniejszej, Iranu, Afganistanu oraz Indii. Zawleczony został także do Ameryki Północnej i Australii. W polskiej florze zaliczany jest do archeofitów. Rośnie jako chwast polny na miedzach i nieużytkach na całym niżu i w dolnej części strefy górskiej. W Polsce jest rośliną pospolitą w stanie dzikim, ale ze względu na lecznicze właściwości jest także uprawiany. W stanie dzikim występuje na polach, przydrożach i siedliskach ruderalnych. Wymagania glebowe rumianku są minimalne. Dobrze plonuje na glebach zarówno piaszczystych, jak i gliniastych. Rumianek pospolity jest rośliną jednoroczną. Kwitnie od maja do lipca [Grygierzec i Szewczyk 2021].



Ryc. 1. Surowiec zielarski kwiat rumianku – *Flos Chamomillae*
(fot. J. Ślusarczyk)

Istnieje kilka odmian chemicznych rumianku, różniących się zawartością składników biologicznie czynnych. Kwiaty rumianku pochodzące z krajów Europy Środkowej zawierają zwykle więcej olejku aniżeli południowoeuropejskie. Surowcem zielarskim są koszyczki rumianku zbierane z możliwie najkrótszą szypułką, gdy białe języczkowate kwiaty mają jeszcze położenie poziome. Suszy się je szybko,

w przewiewie, w temperaturze 35°C. W ten sposób otrzymuje się surowiec, jakim jest koszyczek rumianku – *Chamomillae anthodium*, syn. kwiat rumianku – *Flos Chamomillae* (ryc. 1). Kwiaty zebrane na początku pełni kwitnienia powinny zawierać min. 4 ml/kg olejku eterycznego oraz nie mniej niż 0,25% 7-glukozydu apigeniny [Grygierzec i Szewczyk 2021]. Surowiec zielarski należy przechowywać w szczelnym opakowaniu, w miejscu suchym i zacienionym [Ożarowski i Jaroniewski 1987, Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych... 2011]. Z kwiatów rumianku można przygotowywać m.in. napary, nalewki i wyciągi płynne.

Skład chemiczny kwiatu rumianku – podstawowe związki czynne

Głównym składnikiem koszyczka rumianku jest olejek eteryczny. Kwiatostany (koszyczki) rumianku pospolitego zawierają 0,4–1,5% tego surowca [Lamer-Zarawska i in. 2012]. W skład olejku wchodzi następujące związki zaliczane do cyklicznych seskwiterpenów: chamazulen, α -bisabolol oraz tlenki bisabololu A, B i C, farnezen, myrcen, kadinen, matrycyna. Drugą grupę związków obecnych w kwiatach rumianku stanowią pochodne flawonowe, tj. apigenina i 7-glukozyd apigeniny, luteolina, kwercetyna. Na trzecią grupę związków obecnych w przetworach rumianku składają się pochodne kumarynowe, jak umbeliferon i herniaryna. Ponadto w kwiatach rumianku występują spirocykliczne poliacetyleny, śluz (do 17%), cholina, karotenoidy, kwasy fenolowe, polisacharydy i sole mineralne (tab. 1) [Kohlmünzer 2000, Füller i in. 1993, Carle i in. 1992, Ożarowski i Jaroniewski 1987].

Za lecznicze właściwości rumianku w głównej mierze odpowiada obecny w kwiatach olejek eteryczny bogaty przede wszystkim w α -bisabolol i chamazulen, które stanowią łącznie ok. 50–65% jego składu. Bardzo cennym składnikiem wyciągów z rumianku są związki wykazujące silne działanie antyoksydacyjne, takie jak: flawonoidy (kwercetyna, apigenina, luteolina), kumaryny (eskulina, umbeliferon, herniaryna), kwasy fenolowe i karotenoidy. Obecne są również witamina C i cholina [Grys i in. 2014, Bayati Zadeh i in. 2014, Khennouf i in. 2013]. Bisabolol należący do monocyklicznych alkoholi seskwiterpenowych może występować w postaci czterech różnych stereoizomerów. Jako najistotniejszy składnik czynny olejku jest silnym antyoksydantem, dzięki czemu spowalnia proces starzenia się skóry, a poprzez

regulowanie pracy melanocytów wpływa na wyrównanie jej kolorytu i rozjaśnienie przebarwień. Bisabolol intensyfikuje także procesy regeneracyjne zachodzące w komórkach skóry, spowodowane owrzodzeniami czy poparzeniami słonecznymi. Badania naukowe potwierdzają, że α -bisabolol wpływa na ekspresję genów MITF i aktywność tyrozynazy, dzięki czemu hamuje melanogenezę, a tym samym zapobiega powstawaniu przebarwień posłonecznych [Kamatou i Viljoen 2010, Durok i in. 2023].

Tabela 1. Główne składniki olejku eterycznego kwiatów rumianku – udział procentowy i działanie; na podst.: Ożarowski i Jaroniewski [1987], Lamer-Zarawska i in. [2012]

Składnik olejku eterycznego	Udział (%)	Działanie
α -bisabolol i jego tlenki	25–50	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze, spazmolityczne
Chamazulen	6–20	przeciwalergiczne
Flawonoidy – apigenina, 7-glukozydy apigeniny, luteoliny i kwercetyny	do 8	spazmolityczne
Laktony seskwiterpenowe – matrycyna, matrykaryna i inne	brak danych	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze
Polisacharydy śluzowe	0,5–17	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze
Hydroksykumaryny – umbeliferon, herniaryna i inne	brak danych	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze
Kwasy fenolowe	brak danych	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze
Cholina	brak danych	spazmolityczne
Poliacetyleny	brak danych	przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze

Właściwości terapeutyczne rumianku

Rumianek pospolity wykorzystywany był w lecznictwie i kosmetyce już w starożytności w medycynie ludowej jako roślinny środek na wiele dolegliwości i w takiej roli przetrwał do dziś [Sharifi-Rad i in. 2018]. Obecny w koszyczkach rumianku olejek eteryczny został po raz pierwszy wyizolowany około 500 lat temu [Durok i in. 2023]. Uważa się, że *C. recutita* charakteryzuje się szerokim spektrum działania.

Komitet ds. Roślinnych Produktów Leczniczych Europejskiej Agencji Leków stwierdził, że z uwagi na długotrwałe stosowanie produkty lecznicze zawierające kwiat rumianku można wykorzystywać w następujących sytuacjach [European Medicines Agency 2015]:

- leczenie objawów łagodnych dolegliwości żołądkowo-jelitowych, takich jak wzdęcia i łagodne skurczowe bóle brzucha,
- łagodzenie objawów przeziębienia,
- leczenie łagodnych wrzodów (otwartych owrzodzeń) i stanów zapalnych jamy ustnej i gardła,
- wspomaganie leczenia podrażnień skóry, także skóry okolicy odbytu, jeśli lekarz wykluczy poważne choroby,
- leczenie łagodnych stanów zapalnych skóry (oparzeń słonecznych) oraz powierzchniowych zranień skóry i małych wrzodów (czyraków).

Powyższe wnioski Komitetu ds. Roślinnych Produktów Leczniczych Europejskiej Agencji Leków, dotyczące stosowania kwiatu rumianku w wymienionych sytuacjach, wynikają z tradycyjnego i długotrwałego – od co najmniej 30 lat – jego wykorzystywania pomimo braku wystarczających dowodów z badań klinicznych. W piśmiennictwie wskazuje się na następujące właściwości terapeutyczne rumianku lekarskiego [Szeleszczuk i Zielińska-Pisklak 2013, Miraj i Alesaeidi 2016, European Medicines Agency 2015]:

- przeciwzapalne,
- spazmolityczne,

- przeciwbólowe,
- przeciwbakteryjne,
- przeciwgrzybicze,
- antyoksydacyjne.

Działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze

Wyciągi z rumianku zawierają olejek eteryczny, dzięki któremu oddziałują przeciwzapalnie na błony śluzowe i skórę. Działanie przeciwzapalne olejku rumiankowego było znane już w starożytności, kiedy to stosowano go do nacierań w przypadku nerwobólów i bólów kostnych. Najaktywniejszymi związkami olejku eterycznego są α -bisabolol i spiroeter, natomiast chamazulen wykazuje działanie przeciwalergiczne. Spiroeter hamuje wydzielanie histaminy, serotoniny i bradykininy, czyli związków odpowiedzialnych za stany zapalne [Ożarowski i Jaroniewski 1987]. Badania Ammona i in. [1996] potwierdziły, że ekstrakt etanolowy (48%) i ekstrakt izopropanolowy (48%) z kwiatów rumianku mają właściwości hamujące aktywność 5-lipooksygenazy, cyklooksygenazy oraz utlenianie kwasu arachidowego. Z kolei badania pojedynczych składników ekstraktów z rumianku wykazały, że działają one przeciwzapalnie [Liang i in. 1999, Baylac i Racine 2003] (tab. 1).

Skóra jest największym organem ciała i stanowi pierwszą linię obrony przed wieloma czynnikami stresogennymi. Jednak ciągły stres może osłabić jej naturalny mechanizm obronny, powodując różnego rodzaju stany zapalne. Badania wykazały, że chamazulen i α -bisabolol hamują wzrost bakterii i grzybów, co pozwala wykorzystać rumianek w postaci okładów i składnika maści w przypadku trudno gojących się ran, oparzeń termicznych I i II stopnia, oparzeń słonecznych i owrzodzeń. W leczeniu owrzodzeń żylakowatych podudzi u grupy pacjentów zastosowano spray zawierający ozonowany olej słonecznikowy i α -bisabolol z kwiatów rumianku, uzyskując całkowite wyleczenie w porównaniu z grupą kontrolną, w której nie zaobserwowano całkowitego wyleczenia [Solovastru i in. 2015, Eddin i in. 2022]. Aktywność przeciwgrzybicza α -bisabololu została zbadana na dziesięciu gatunkach grzybów, w tym na grzybie pleśniowym *Aspergillus fumigatus*. Wyniki wykazały, że α -bisabolol jest w stanie ograniczać wzrost

A. fumigatus poprzez hamowanie syntezy ergosterolu odpowiedzialnego za integralność błony komórkowej tego gatunku grzyba [Jahanshiri i in. 2017].

Napar z ziela rumianku podaje się doustnie w stanach zapalnych przewodu pokarmowego. Pomocniczo stosowany jest także w chorobie wrzodowej żołądka i jelit, nadmiernej fermentacji, wzdęciach, bólach brzucha, zgadze oraz przy braku łaknienia. Koszyczek rumianku w połączeniu z innymi surowcami zielarskimi wchodzi w skład preparatów wykorzystywanych już od wielu lat jako środek żółciopędny oraz w przewlekłym zapaleniu dróg moczowych, w szczególności kłębków nerkowych i pęcherza moczowego [Ożarowski i Jaroniewski 1987].

Ekstrakt z rumianku pospolitego stosowany jest również w leczeniu różnych chorób jamy ustnej. Badania prowadzone nad działaniem ekstraktu z rumianku wykazały dobre efekty terapeutyczne w leczeniu różnych chorób jamy ustnej, takich jak przewlekłe zapalenie przyzębia, aftowe owrzodzenia jamy ustnej, zapalenie błony śluzowej jamy ustnej i nawracające aftowe zapalenie jamy ustnej [Kani i in. 2023].

Działanie spazmolityczne

Zawarte w kwiatach rumianku flawonoidy oraz pochodne kumaryny działają rozkurczowo na mięśnie gładkie jelit. Dzięki temu roślina ta przywraca prawidłowe ruchy perystaltyczne, zapobiega wzdęciom i jest skutecznym środkiem wiatropędnym. Za działanie przeciwskurczowe odpowiadają flawonoidy oraz kumaryny. *Chamomilla recutita* wykazuje również słabe działanie żółciopędne i uspokajające [Eddin i in. 2022].

Napar z kwiatów rumianku wykazuje właściwości przeciwbakteryjne, a u małych dzieci ma łagodne działanie przeczyszczające. Surowiec wewnętrznie stosuje się w objawowym leczeniu dolegliwości żołądkowo-jelitowych, takich jak skurcze spastyczne żołądka i jelit, wzdęcia, odbijanie się, stany zapalne przewodu pokarmowego. Po przyjęciu doustnym związki czynne rumianku wydalone są głównie z moczem i działają w słabym stopniu przeciwzapalnie na kłębuszki nerkowe, moczowody i pęcherz moczowy. Zewnętrznie zioło to zalecane jest do stosowania miejscowego w stanach zapalnych skóry i błon śluzowych, w tym do płukania jamy

ustnej i gardła, inhalacji w przypadku podrażnień górnych dróg oddechowych, a także do kąpieli, płukanek, maści w sytuacji zapaleniach okolic odbytu i narządów płciowych [Grys i in. 2014].

Działanie przeciwdepresyjne i uspokajające

Napar z kwiatów rumianku wykazuje właściwości rozluźniające i odprężające, stąd też można go stosować w zaburzeniach snu i łagodnych stanach napięcia nerwowego. W połączeniu z innymi surowcami zielarskimi rumianek wykorzystywany jest jako słaby środek uspokajający, np. w mieszance ziołowej Nervosan, oraz przeciwgorączkowy, w postaci mieszanki ziołowej Pyrosan. W postaci aerozolu lub preparatu do inhalacji stosuje się preparaty z rumianku w stanach zapalnych górnych dróg oddechowych i katarze siennym u dzieci. Napar z kwiatów rumianku podaje się również w przypadku stanów zapalnych błony śluzowej jamy ustnej, dziąseł, gardła, zatok obocznych nosa oraz w codziennej higienie jamy ustnej. Roślina ta stosowana jest także w zabiegach leczniczych w przypadku stanów zapalnych szyjki macicy i pochwy [Ożarowski i Jaroniewski 1987].

Właściwości kosmetyczne rumianku pospolitego

Rumianek był ceniony od wieków za swoje właściwości kosmetyczne. Uznanie zyskał głównie ze względu na działanie przeciwzapalne i łagodzące. W uwagi na oddziaływanie delikatne i hipoalergiczne używany jest często jako składnik aktywny wielu kosmetyków do pielęgnacji. Preparaty z rumianku pospolitego stanowią doskonały ratunek dla skóry podrażnionej. Zawierają witaminy z grupy B i witaminę C, dlatego delikatnie pielęgnują, łagodzą podrażnienia i koją. Z tego powodu rumianek jest często jednym z głównych składników kosmetyków przeznaczonych do cery wrażliwej i skłonnej do podrażnień. Kremy z rumiankiem zmniejszają obrzęk i odświeżają skórę, dzięki czemu staje się ona promienna i rozświetlona [Jędrzejko i in. 2012].

Właściwości przeciwzapalne, przeciwbakteryjne i łagodzące rumianku sprawiają, że wyciąg z tej rośliny jest powszechnym składnikiem kosmetyków: kremów, maści, żeli

pod oczy i na powieki, szamponów, toników, płynów do kąpieli i do mycia, maseczek i mleczek do twarzy. Napar z rumianku, parówki czy kosmetyki rumiankowe bardzo dobrze działają w przypadku różnych dolegliwości skórnych [Lamer-Zarawska i in. 2012, Marwicka i in. 2021].

Pomocniczo ekstrakty z rumianku są efektywne w leczeniu trądziku pospolitego, który jest przewlekłą zapalną dermatozą gruczołów łojowych i ujść mieszków włosowych tworzących tzw. jednostkę włosowo-łojową. Trądzik pospolity to choroba o złożonej patogenecie, związanej z nieprawidłowym złuszczeniem komórek ujść mieszków włosowych, zaburzeniami wydzielania androgenów, nadmierną produkcją sebum, obecnością mediatorów stanu zapalnego, a także bakterii *Propionibacterium acnes* [Schnopp i Mempel 2012, Szepietowski i in. 2012]. W badaniach przeprowadzonych przez Vorę i in. [2018] ekstrakt roślinny z *C. recutita* wykazał znaczącą aktywność przeciwko *P. acnes*. Wartości MIC (ang. minimum inhibitory concentration, minimalne stężenie hamujące) ekstraktu z *C. recutita* były porównywalne ze standardowymi lekami referencyjnymi na bazie izotretynoiny. Wyniki badania sugerują, że ekstrakty roślinne z rumianku mogą być stosowane jako naturalne preparaty przeciwtrądzikowe [Vora i in 2018]. Związki czynne rumianku są także sprawdzonym sposobem na pozbycie się wtórnych zmian choroby trądzikowej, do których zaliczyć można nadżerkę, przeczros, owrzodzenie czy blizny potrądzikowe. Związki te zapobiegają rozwojowi bakterii, przyspieszają gojenie ran oraz niwelują widoczność blizn, działając jako łagodzący kompres na zmienioną chorobowo skórę. Przemywanie cery trądzikowej naparem z rumianku oczyszcza skórę i łagodzi podrażnienia, świąd i niewielkie owrzodzenia [Szepietowski i in. 2012, Vora i in. 2018].

Często stosowanym składnikiem kosmetyków jest α -bisabolol pozyskiwany z olejku eterycznego kwiatów rumianku pospolitego. Najbardziej ceniony jest za właściwości kojące i przeciwzapalne – łagodzi podrażnienia i przyspiesza gojenie się skóry, pobudzając procesy ziarninowania. Poprawia stan skóry suchej lub uszkodzonej, zmniejszając proces łuszczenia się skóry oraz świąd, a także przywraca jej jędrność. Zwiększa także przyswajalność innych składników aktywnych w kosmetyku, ułatwiając ich przenikanie przez warstwę rogową naskórka. Wykazuje też działanie

ochronne przed czynnikami zewnętrznymi. Bisabolol ma charakterystyczny kwiatowo-ziółowo-cytrusowy aromat, więc bywa wykorzystywany jako dodatek zapachowy [Marwicka i in. 2021].

Kosmetyki na bazie rumianku są przeznaczone także dla skóry alergicznej, delikatnej i wrażliwej. Żele pod oczy z rumiankiem polecany jest na powieki zaczerwienione i opuchnięte. Tego rodzaju kosmetyki działają kojąco, zmniejszają pieczenie i bolesność skóry wokół oczu. Z kolei toniki i mgiełki z wyciągiem z rumianku działają odświeżająco, nawilżająco i ogólnie dodają skórze blasku. Wyciągi z rumianku to także popularny składnik kosmetyków pielęgnacyjnych dla dzieci; wchodzi często w skład żeli do mycia ciała i włosów, szamponów dla dzieci, kremów łagodzących, płynów do kąpieli czy emulsji do ciała. Kąpiele rumiankowe z dodatkiem 50 g suszonych koszyczków rumianku na 10 l wody służą oczyszczeniu skóry przede wszystkim w rekonwalescencji po wysypkach, wrzodach i innych chorobach skóry [Bojarowicz i in. 2016, Jankowiak i Schaschner 2013].

Rumianek w pielęgnacji włosów

Rumianek bardzo dobrze sprawdza się także przy pielęgnacji włosów jasnych. Jako składnik w szamponach ekstrakt rumiankowy koi skórę głowy oraz zapobiega nadmiernemu przetłuszczaniu i powstawaniu łupieżu. Ponadto dzięki składnikom mineralnym taki szampon odżywia cebulki włosów, dodając włosom blasku i elastyczności, dzięki czemu są one miękkie w dotyku, a także bardziej podatne na stylizację. Szampon rumiankowy wzmacnia i regeneruje włosy, dokładnie je oczyszcza oraz podkreśla ich piękny jasny kolor. Ponieważ rumianek ma właściwości rozjaśniające, powinien być używany przez osoby o włosach blond. Regularne stosowanie szamponu z rumiankiem może rozjaśnić naturalną barwę włosów nawet o dwa tony, nadając im lekko złocisty odcień [Jędrzejko i in. 2012].

Wnioski

Przetwory z kwiatów rumianku należą do substancji najczęściej wykorzystywanych w lecznictwie i kosmetyce oraz wykazujących długotrwałą historię stosowania.

Roślina ta była znana już za czasów Pliniusza (75–23 p.n.e.), polecali ją też Hipokrates i Dioskurydes. Rumianek znany jest przede wszystkim ze swojego wpływu przeciwzapalnego, co jest wynikiem działania wielu składników obecnych w surowcu i ekstrakcie z tej rośliny. Ponadto na uwagę zasługuje aktywność przeciwdrobnoustrojowa rośliny. Koszyczek rumianku wchodzi w skład wielu mieszanek leczniczych, suplementów diety oraz kosmetyków. Występowanie związków rumianku jako składnika w tak różnych produktach skłania do prowadzenia dalszych badań nad tą rośliną oraz jej potencjałem terapeutycznym i kosmetycznym.

Bibliografia

- Ammon H.P.T, Sabieraj J., Kraul R., 1996. Kamille. Mechanismus der antiphlogistischen Wirkung von Kamillenextrakten und -inhaltsstoffen. Dtsch. Apoth. Ztg. 136, 1821–1833.
- Baylac S., Racine P., 2003. Inhibition of 5-lipoxygenase by essential oils and other natural fragrant extracts. Int. J. Aromather 13(2–3), 138–142.
- Bayati Zadeh J., Nasroallah Moradi Kor N., Zahra Moradi Kor Z., 2014. Chamomile (*Matricaria recutita*) as a valuable medicinal plant. Int. J. Adv. Biol. Biom. Res. 2(3), 823–829. [https://doi.org/10.1016/S0962-4562\(03\)00083-3](https://doi.org/10.1016/S0962-4562(03)00083-3)
- Bojarowicz H., 2016, Szemryk A., Krysiński J., 2016. Kosmetyki przeznaczone do stosowania w różnych przedziałach wieku. Kosmetol. Estet. 5(5), 479–484.
- Carle R., 1992. *Chamomilla*. W: Hansel R. i in. (red.), Hagers Handbuch der Pharmazeutischen Praxis, wyd. 5, t. 4. Springer-Verlag, 817–831.
- Dąbrowska A., Chernetsky M., Sawicki R., Szymczak G., 2016. Rośliny o właściwościach kosmetycznych we florze Polski. W: Kiełtyka-Dadasiewicz A. (red.). Rośliny w nowoczesnej kosmetologii. Wyd. Akad. WSSP, Lublin, Polska.
- Durok A., Klasik-Ciszewska S., Rogalska M., 2023. Substancje czynne pochodzenia naturalnego o działaniu fotoprotekcyjnym. Aesth. Cosmetol. Med. 12(2), 65–72. <https://doi.org/10.52336/acm.2023.007>
- Eddin L.B., Jha N.K., Goyal S.N., Agrawal Y.O., Subramany, S.B., Bastaki S.M.A., Ojha S. 2022. Health benefits, pharmacological effects, molecular mechanisms, and

therapeutic potential of α -bisabolol. *Nutrients*, 14, 1370.

<https://doi.org/10.3390/nu14071370>

European Medicines Agency, 2015. Available:

www.ema.europa.eu/en/documents/herbal-summary/matricaria-flower-summary-public_pl.pdf.

Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych, 2011. *Farmakopea Polska XI*. Tom I. Warszawa, 1320–1323.

Füller S., Sosa S., Tubaro A., Franz G., Della Loggia R., 1993. Anti-inflammatory activity of *Chamomilla* polysaccharides. *Planta Med.* 59, 666–667.

Grygierzec B., Szewczyk W., 2021. *Uprawa i pozyskiwanie wybranych roślin zielarskich*. Małopolski Ośrodek Doradztwa Rolniczego, Karniowice, Polska.

Grys A., Kania M., Baraniak J., 2014. Rumianek – pospolita roślina zielarska o różnorodnych właściwościach biologicznych i leczniczych. *Post. Fitoter.* 4, 90–93.

Jahanshiri Z., Shams-Ghahfarokhi M., Asghari-Paskiabi F., Saghiri R., Razzaghi-Abyaneh M. 2017. α -Bisabolol inhibits *Aspergillus fumigatus* Af239 growth via affecting microsomal D(24)-sterol methyltransferase as a crucial enzyme in ergosterol biosynthesis pathway. *World J. Microbiol. Biotechnol.* 33, 55.

<https://doi.org/10.1007/s11274-017-2214-9>

Jankowiak W., Schaschner K., 2013. Surowce roślinne w kosmetyce – fitokosmetyki. *Kosmetol. Estet.* 4(2), 239–241.

Jędrzejko K., Kowalczyk B., Bacler-Żbikowska B., 2012. *Rośliny kosmetyczne*. Wyd. Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, Katowice.

Kani V.T., Bharathwaj V.V., Nimmy P., Sindhu R., Dinesh D., Sathiapriya S., Prabu D., Raj Mohan M., 2023. Therapeutic effects of *Chamomilla* extract in oral diseases. a systematic review. *J. Adv. Med. Dent. Sci. Res.* 11(4), 50–55.

Kamatou G.P.P., Viljoen A.M., 2010. a review of the application and pharmacological properties of α -bisabolol and α -bisabolol-rich oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 87(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11746-009-1483-3>

- Khenouf S., Benchiekh D., Djidel S., Dahamna S., Amira S., Charef N., Baghiani A., Harzallah D., Arrar L., 2013. Polyphenols and antioxidant properties of extracts from *Mentha pulegium* L. and *Matricaria chamomilla* L. Pharmacogn. Comm. 3(2), 35–40.
<http://dx.doi.org/10.5530/pc.2013.2.8>
- Kohlmünzer S., 2000. Farmakognozja. Podręcznik dla studentów farmacji. PZWL, Warszawa.
- Lamer-Zarawska E., Chwała C., Gwardys A. 2012. Rośliny w kosmetyce i kosmetologii przeciwstarzeniowej. PZWL, Warszawa.
- Liang Y.C., Huang Y.T., Tsai S.H., Lin-Shiau S.Y., Chen C.F., Lin J.K. 1999. Suppression of inducible cyclooxygenase and inducible nitric oxide synthase by apigenin and related flavonoids in mouse macrophages. Carcinogen 20, 1945–1952.
<https://doi.org/10.1093/carcin/20.10.1945>
- Marwicka J., Gałuszka A., Kotwica M., 2021. Kosmeceutyki. Skład oraz oddziaływanie. Aesth. Cosmetol. Med. 10(3), 135–141.
<https://doi.org/10.52336/acm.2021.10.3.06>
- Miraj S., Alesaeidi S. 2016. A systematic review study of therapeutic effects of *Matricaria recuita chamomile* (chamomile). Electron. Phys. 8(9), 3024–3031.
<https://doi.org/10.19082/3024>
- Ożarowski A., Jaroniewski W., 1987. Rośliny lecznicze i ich praktyczne zastosowanie. IWZZ, Warszawa.
- Podbielkowski Z., Sudnik-Wójcikowska B., 2003. Słownik roślin użytkowych. PWRiL, Warszawa.
- Schnopp C., Mempel M., 2012. Trądzik zwyczajny u dzieci i młodzieży. Dermatol. Dypl. 3(2), 49–61.
- Sharifi-Rad M., Nazaruk J., Polito L., Morais-Braga M.F.B., Rocha J.E., Coutinho H.D.M., Salehi B. Tabanelli G., Montanari C., Del Mar Contreras M., Yousaf Z., Setzer W.N., Verma D.R., Martorell M., Sureda A., Sharifi-Rad J., 2018. Matricaria genus as a source of antimicrobial agents: From farm to pharmacy and food applications. Microbiol. Res. 215, 76–88.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2018.06.010>

Solovastru L.G., Stîncanu A., De Ascentii A., Capparé G., Mattana P., Vâta D., 2015. Randomized, controlled study of innovative spray formulation containing ozonated oil and α -Bisabolol in the topical treatment of chronic venous leg ulcers. *Adv. Ski. Wound Care.* 28, 406–409. <https://doi.org/10.1097/01.ASW.0000470155.29821.ed>

Szeleszczuk Ł., Zielińska-Pisklak M. 2013. Rumianek lekarski – dlaczego warto mieć go w domowej apteczce. *Lek Pol.* 23(9), 72–79.

Szepietowski J., Kapińska-Mrowiecka M., Kaszuba A., Langner A., Placek W., Wolska H., Matusiak Ł., 2012. Trądzik zwyczajny: patogeneza i leczenie. *Przegl. Dermatol.* 99, 649–673.

Vora J., Srivastava A., Modi H., 2018. Antibacterial and antioxidant strategies for acne treatment through plant extracts. *Informat. Med. Unlock.* 13, 128–132. <https://doi.org/10.1016/j.imu.2017.10.005>

Abstract

Chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) is an annual plant occurring in Europe and Asia. It has a long and rich history of therapeutic and cosmetic applications. Dried flowers and essential oil extracted from flowers are used as biologically active parts of the chamomile plant. The main chemical components of chamomile include essential oil, coumarins, cyanogenic glycosides, flavonoids, salicylates, tannins, and polysaccharides. Extracts from *C. recutita* are used as analgesic, anti-inflammatory, antispasmodic, carminative, diaphoretic, laxative, stomachic, sedative, and tonic agents. With its wide spectrum of pharmacological activity, *C. recutita* is one of the most important species in the group of popular and traditional medicinal plants. Given their gentle and hypoallergenic effect, chamomile extracts are often used as an active ingredient in many skin care cosmetics. Their gentle conditioning, soothing, and alleviating effects are attributed to the content of vitamins from group B and C. Hence, chamomile is often one of the main ingredients of cosmetics intended for sensitive and irritation-prone skin. It is also often found in cosmetics for children.

Keywords: *Chamomilla recutita* (L.) Rausch., essential oil, bisabolol, therapeutic and cosmetic properties, biologically active compounds

Właściwości prozdrowotne lawendy wąskolistnej (*Lavandula angustifolia* Mill.) wykorzystywane w przemyśle kosmetycznym

Health-promoting properties of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) used in the cosmetics industry

Aleksandra M. Soińska  <https://orcid.org/0009-0009-3372-6100>

Student kierunku biologia i kierunku pielęgniarstwo, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, Kielce

Anna K. Kopacz-Bednarska  <https://orcid.org/0000-0003-0664-1450>

Zakład Biologii Medycznej, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce

e-mail: anna.kopacz-bednarska@ujk.edu.pl

Joanna E. Ślusarczyk  <https://orcid.org/0000-0001-8022-3244>

Zakład Biologii Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, ul. Uniwersytecka 7, 25-406 Kielce

Streszczenie

Współcześnie dużym zainteresowaniem w kosmetologii cieszą się produkty naturalne pochodzenia roślinnego, w tym lawenda wąskolistna (*Lavandula angustifolia* Mill.). Roślina ta od wielu lat jest wykorzystywana w kosmetyce, a z uwagi na wiele różnorodnych właściwości biologicznych zyskuje nowe zastosowania. Najbardziej cenionym składnikiem lawendy wąskolistnej jest olejek

wykorzystywany przez rynek kosmetyczny do produkcji kosmetyków oraz środków do pielęgnacji skóry i włosów. Ze względu na złożony skład związków bioaktywnych olejek lawendowy wykazuje aktywność przeciwgrzybiczą, przeciwbakteryjną, przeciwzapalną, a to czyni go doskonałym składnikiem preparatów o działaniu oczyszczającym; z tego powodu jest stosowany m.in. do pielęgnacji cery trądzikowej. Olejek działa także przeciwobrzękowo, zmniejsza zaczerwienienia, przyspiesza regenerację skóry, łagodzi podrażnienia. Z powodzeniem stosowany jest w aromaterapii. Olejek z *L. angustifolia* Mill. wykazuje działanie przeciwzapalne, co może mieć istotny wpływ na hamowanie objawów i reakcji zapalnych w schorzeniach atopowych skóry. Duże nadzieje budzą również właściwości cytotoksyczne *L. angustifolia* Mill. związane z potencjalną aktywnością przeciwnowotworową, a także możliwością jej przyszłego zastosowania w terapii nowotworów skóry.

Słowa kluczowe: *Lavandula angustifolia* Mill., olejek lawendowy, aromaterapia, kosmetologia

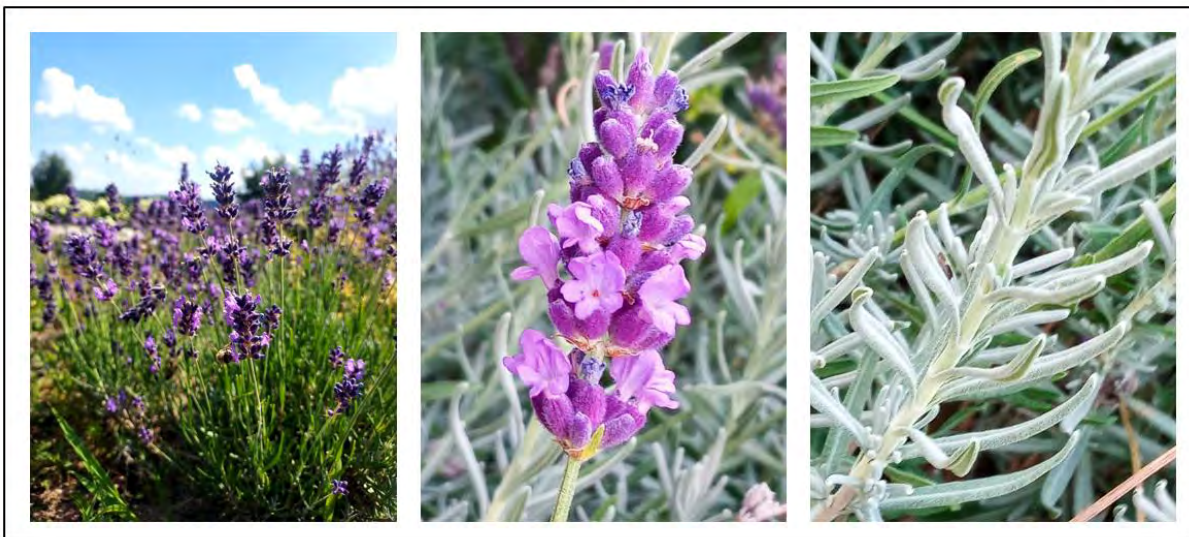
Wstęp

Obecnie wzrasta świadomość społeczeństwa dotycząca zdrowego, przyjaznego dla środowiska stylu życia. Dlatego dużym zainteresowaniem cieszą się produkty naturalne pochodzenia roślinnego, zwane fitokosmetykami, które uznawane są nie tylko za bezpieczną formę pielęgnacji ciała, ale również za skuteczną metodę terapii niektórych chorób skóry [Kowalczyk i in. 2024]. Rynek kosmetyczny z powodzeniem wykorzystuje substancje pochodzenia roślinnego w produkcji kosmetyków oraz środków do pielęgnacji skóry i włosów. Wśród czynników biologicznych zawartych w roślinach o potencjale kosmetycznym wymieniane są m.in. terpenoidy, aminy, pektyny, saponiny, flawonoidy, oleje i witaminy [Jankowiak i Schaschner 2013]. Związki te w dużej mierze stanowią także składnik ekstraktów z lawendy wąskolistnej. Stąd celem niniejszej pracy był przegląd najistotniejszych informacji dotyczących składników bioaktywnych zawartych w lawendzie wąskolistnej (*Lavandula angustifolia* Mill.) oraz najważniejszych właściwości biologicznych umożliwiających zastosowanie rośliny w produktach kosmetycznych.

Charakterystyka lawendy wąskolistnej (*L. angustifolia* Mill.)

Lawenda wąskolistna (*L. angustifolia* Mill.) należąca do rodziny jasnotowatych (Lamiaceae) nazywana jest rośliną wiecznie zieloną [Najafian i in. 2022]. Znana jest również jako lawenda lekarska, lawenda prawdziwa oraz lawenda wonna. *Lavandula angustifolia* Mill. jest niewielkim krzewem dorastającym do około 50 cm wysokości. Posiada krótkie pędy, gęsto pokryte liśćmi przypominającymi igły ze względu na swoje podwinięte brzegi. Liście osiągają około 0,5 cm szerokości i od 2 do 4 cm długości, są także obustronnie pokryte grubą warstwą kutneru, co nadaje im charakterystycznego srebrzystego koloru. Lawenda wąskolistna ma drobne, najczęściej ciemnofioletowe, bardzo aromatyczne kwiaty zebrane w kłosy (ryc. 1) [Sazońska 2019]. Roślina ta kwitnie od końca czerwca do połowy sierpnia. Zwykle uprawiana jest na dobrze nasłonecznionych polach o dużej zawartości wapnia w glebie [Najar i in. 2019]. Lawenda naturalnie pochodzi z basenu Morza Śródziemnego, jednak aktualnie do głównych jej producentów oprócz Francji zalicza się Bułgarię, Stany Zjednoczone, Wielką Brytanię, Włochy, Węgry oraz Polskę [Crişan i in. 2023]. Gatunek ten posiada wiele odmian, takich jak: Blue Scent, Munstead, Rosea, Aromatico Blue czy Ellagance Purple. Lawenda zyskuje nie tylko wiele zastosowań w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym, ale także spełnia walory wizualne, dlatego też często uprawiana jest w przydomowych ogródkach lub ogrodach pokazowych. Swoje miejsce ma również w kuchni – suszone kwiaty lawendy są jednym ze składników mieszanki przyprawowej nazywanej potocznie ziołami prowansalskimi oraz mogą służyć do dekoracji słodkich deserów [Nowicka i in. 2018]. Sporą popularnością cieszy się również miód lawendowy ze względu na wyjątkowy smak i aromat [Soares i in. 2018].

Stosowanie lawendy sięga czasów starożytnych – roślina została opisana w „De materia medica” przez Dioskurydesa [Prusinowska i Śmigielski 2014]. W Rzymie była używana jako dodatek do kąpeli [Prusinowska i Śmigielski 2014], a w Egipcie kwiaty lawendy stosowano w procesie mumifikacji [Chu i Kemper 2001]. W czasach nowożytnych roślina ponownie zyskała na popularności poprzez ogłoszenie jej ziołem roku 1999 („Herb of the year 1999”) przez organizację Herb Growing and Marketing Network w Stanach Zjednoczonych [Amira i in. 2015].



Ryc. 1. Lawenda wąskolistna (*L. angustifolia* Mill.), fot. A. Soińska i A. Kopacz-Bednarska

Olejek eteryczny lawendowy i zawarte w nim związki bioaktywne

Olejek eteryczny lawendowy zwany dalej olejkiem lawendowym jest najcenniejszym składnikiem lawendy wąskolistnej (*L. angustifolia* Mill.). Pozyskiwany jest poprzez destylację parą wodną ściętych kwiatów wraz z fragmentami łodyg. Dzięki temu procesowi można uzyskać około 3% olejku eterycznego. Powstały produkt powinien być jasny, o słomkowożółtej barwie [Michalski i Zielińska 2015]. Podczas produkcji olejku eterycznego w trakcie skraplania wody w procesie destylacji parowej jako produkt uboczny powstaje hydrolat zawierający śladowe ilości olejku eterycznego. Z powodzeniem może być on stosowany jako tonik lub baza do kremów i maseczek [Edris 2009].

Mechanizm biologicznego działania olejku lawendowego zależy od jego składu, kraju pochodzenia, warunków wzrostu i okresu kwitnienia rośliny [Pandur i in. 2021].

Olejek lawendowy w swoim składzie chemicznym może zawierać nawet około 100 różnych substancji bioaktywnych o zróżnicowanym działaniu [Andrys i Kulpa 2016].

Aby został on uznany za produkt leczniczy o istotnych właściwościach terapeutycznych, musi spełniać określone normy międzynarodowe (PN-ISO 3515:2002/Cor 1:2004) oraz wymogi rejestracji produktów leczniczych [Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych... 2023]. Do głównych składników aktywnych

olejku lawendowego należą związki terpenoidowe, w tym linalol, octan linalolu, kamfora i eukaliptol (tab. 1). Ich zawartość procentowa w całym olejku wynosi około 90%, pozostały udział stanowią m.in. związki fenolowe. Do polifenoli zawartych w olejku lawendowym należą flawonoidy, fenolokwasy, kumaryny i garbniki [Adaszyńska-Skwirzyńska i Swarczewicz 2014]. Oprócz wymienionych związków w składzie chemicznym olejku można znaleźć również sterole [Al-Niaame i Aziz 2013]. Olejek lawendowy wydziela charakterystyczną woń, za którą odpowiadają konkretne komponenty bioaktywne, nadając mu różne nuty zapachowe (tab. 2).

Tabela 1. Zawartość procentowa wybranych substancji bioaktywnych w olejku lawendowym [Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych... 2023]

Substancje bioaktywne	Zawartość [%]
linalol	20,0–45,0%
octan linalolu	25,0–47,0%
α -terpineol	<2%
1-terpinen-4-ol	0,1–8,0%
limonen	<1,0%
3-oktanon	0,1–5,0%
octan lawandulolu	>0,2%
lawandulol	>0,1%
kamfora	<1,2%
eukaliptol	<2,5%

Tabela 2. Związki zawarte w olejku lawendowym i odpowiadające im zapachy [Góra i Lis 2019]

Grupy związków zawartych w olejku lawendowym	Charakter zapachu
seskwiterpeny	pudrowy, słodki
linalol, lawandulol i ich estry	kwiatowy
estry alifatyczne	owocowo-tłuszczowy
aldehydy i ketony monoterpenowe	ziołowy
heksenol i jego pochodne	świeży, orzeźwiający

Jedną z licznych grup substancji czynnych zawartych w olejku lawendowym są flawonoidy – związki barwnikowe występujące w liściach oraz kwiatach roślin [Jasiński i in. 2009]. Związki te charakteryzuje m.in. działanie antyoksydacyjne, dzięki czemu wpływają korzystnie na funkcjonowanie naczyń krwionośnych, działają przeciwnowotworowo i przeciwbakteryjnie [Banjarnahor i Artanti 2015]. Silnymi przeciwutleniaczami o aktywności przeciwnowotworowej są także fenolokwasy, które mogą chronić komórki przed stresem oksydacyjnym [Gawlik-Dziki 2004]. Z kolei kumaryny występujące w lawendzie wykorzystywane są jako środek aromatyczny oraz utrwalcza woni, wykazują również dużą skuteczność jako preparaty rozkurczowe, wyciszające oraz rozszerzające światło naczyń krwionośnych [Adaszyńska-Skwirzyńska i Swarczewicz 2014]. Lawenda zawiera też garbniki, które wiążą metale ciężkie, chroniąc przed niekorzystnym działaniem związków toksycznych, a także działają przeciwzapalnie i ściągająco. Garbniki mogą zwiększać produkcję kolagenu, poprawiając stan i parametry skóry [Lamer-Zarawska 2014].

Wykorzystanie *Lavandula angustifolia* Mill. w kosmetologii

Olejek lawendowy został już na stałe przyjęty do kanonu substancji o istotnym zastosowaniu w różnych dziedzinach kosmetologii.

Aromaterapia

Olejek lawendowy, dzięki szerokiemu spektrum działania biologicznego, powszechnie wykorzystywany jest w aromaterapii oraz jako składnik mydeł, kremów, a także balsamów i perfum o wyjątkowym zapachu. W aromaterapii stosowany jest do inhalacji, kąpieli relaksujących, masaży, a także jako aromat zapachowy. Pozytywne działanie lawendy na ośrodkowy układ nerwowy polega na zmniejszeniu uczucia napięcia nerwowego i problemów z zasypianiem. Olejkowi lawendowemu przypisywane jest także działanie immunostymulujące [Osińska i Fornal-Pieniak 2022], ponieważ zwiększa poziom i aktywność leukocytów, zwłaszcza granulocytów. Jest on także istotnym stymulantem dojrzałych limfocytów B w produkcji immunoglobulin [Adaszyńska-Skwirzyńska i in. 2021, Dmoszyńska i Siedlar 2021]. W przypadku masaży olejek działa nie tylko jako dodatkowy walor zapachowy, lecz

również jako czynnik terapeutyczny dla skóry, m.in. dzięki zawartym w składzie flawonoidom – istotnym składnikom ekstraktu *L. angustifolia* Mill., występującym zarówno w kwiatach (0,09%), jak i liściach (0,26%) rośliny. Masaże z wykorzystaniem eterycznego olejka lawendowego stosowane są w celu lepszego ukrwienia skóry, większego dotlenienia komórek oraz zwiększenia poziomu adsorpcji składników bioaktywnych [Pal i Piotrowska 2018]. Aromaterapia z użyciem olejków eterycznych pochodzenia naturalnego wspomaga leczenie różnych dolegliwości zdrowotnych, a zastosowanie olejku lawendowego w zabiegach aromaterapeutycznych poprawia kondycję skóry, a także łagodzi problemy trądzikowe i łuszczykowe [Marwicka i in. 2015].

Działanie przeciwbakteryjne

W ostatnich latach odnotowuje się narastający problem wzrostu oporności bakterii na stosowaną tradycyjnie antybiotykoterapię. Dlatego też zwiększa się potrzeba poszukiwania naturalnych środków zwalczających drobnoustroje. Zgodnie z prowadzonymi badaniami olejek z lawendy wąskolistnej wykazuje działanie przeciwbakteryjne [Diass i in. 2023]. Do bakterii Gram-dodatnich podatnych na działanie olejku zaliczane są szczepy *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *S. epidermidis* oraz *Listeria monocytogenes*, natomiast do wrażliwych bakterii Gram-ujemnych: *Proteus vulgaris*, *Escherichia coli*, *Bacteroides vulgatus*, *B. uniformis* i *Peptostreptococcus anaerobius* [Kędzia i in. 2018, Pałubicka i in. 2020]. Spośród wymienionych szczepów bakterii wiele wywołuje zmiany skórne, w tym wykwity skóry, dlatego olejek lawendowy często dodawany jest do preparatów przeznaczonych do pielęgnacji skóry trądzikowej lub leczenia ran, także tych o ciężkim przebiegu gojenia [Radosz i in. 2018]. Zgodnie z danymi literaturowymi hydrolat lawendowy pozyskiwany z *L. angustifolia* Mill. wykazuje słabsze działanie przeciwdrobnoustrojowe niż olejek eteryczny [Prusinowska i in. 2015].

Działanie przeciwgrzybicze

Innymi mikroorganizmami, które stają się odporne na działanie dostępnych na rynku środków leczniczych, są grzyby. Zgodnie z danymi literaturowymi olejek lawendowy

wykazuje działanie grzybobójcze wobec gatunków: *Candida albicans*, *Aspergillus niger* czy *A. fumigatus*. Jednak badania ukierunkowane na przeciugrzybiczą aktywność olejku lawendowego trwają i nieustannie podejmowane są próby opracowania preparatu leczniczego o wysokiej skuteczności, opartego na ekstrakcie *L. angustifolia* Mill. [Pałubicka i in. 2020, Adaszyńska-Skwirzyńska i in. 2023].

Inne przykłady kosmetycznego wykorzystania *L. angustifolia* Mill.

Istotnym celem badań kosmetycznych jest poszukiwanie nieinwazyjnych środków depigmentujących skórę. Obecnie uznaje się, że najskuteczniejsze w tej dziedzinie są substancje będące inhibitorami tyrozynazy – kluczowego enzymu w procesie melanogenezy. Andrei i in. [2018] wykazali depigmentujące działanie olejku z lawendy wąskolistnej, który był skuteczny już po 2 miesiącach codziennego stosowania. W badaniu zaobserwowano, że olejek eteryczny z *L. angustifolia* Mill. zmniejsza intensywność melaniny w skórze, co może wskazywać na możliwości jego zastosowania w preparatach dermokosmetycznych [Andrei i in. 2018].

Olejek lawendowy znajduje wiele zastosowań w kosmetyce. Oprócz tego, że działa przeciwobrzękowo, zmniejsza zaczerwienienia i regeneruje skórę, przyspiesza gojenie ran, łagodzi podrażnienia. Z tego powodu jest doskonałym składnikiem preparatów o działaniu oczyszczającym oraz do pielęgnacji cery trądzikowej.

Ponadto dane literaturowe wskazują na cytotoksyczne właściwości *L. angustifolia* Mill. Potencjalne działanie przeciwnowotworowe i antyproliferacyjne olejku lawendowego wykazano wobec różnych modeli komórkowych w warunkach *in vitro*. Działanie to jest możliwe poprzez indukcję szlaków śmierci komórkowej skutkujące inhibicją żywotności komórek nowotworowych, co budzi nadzieję na możliwe zastosowanie olejku lawendowego także w terapii nowotworów skóry [Gezici 2018].

Schorzeniem skóry o przebiegu przewlekłym i nawrotowym jest atopowe zapalenie skóry (AZS). W patogenezie AZS ważną rolę odgrywa nadmierna produkcja cytokin prozapalnych. Wykazano, że ekstrakt lawendowy może zmniejszać stan zapalny poprzez modulację aktywności szlaku sygnałowego NFκB – głównego regulatora cytokin prozapalnych. W badaniach Pandur i in. [2021] zaobserwowano, że olejek lawendowy jest silnym inhibitorem cytokin prozapalnych, tj. IL-6, IL-8, IL-β, co

wskazuje na jego właściwości przeciwzapalne. Jednak aktywność przeciwzapalna jest uzależniona od składu *L. angustifolia* Mill. Największe właściwości przeciwzapalne wykazuje olejek pozyskiwany na początku kwitnienia rośliny [Pandur i in. 2021]. W badaniach przeprowadzonych przez Sato i in. [2024] na ludzkich keratynocytach linii HaCaT zaobserwowano, że olejek z *L. angustifolia* Mill. posiada silne działanie hamujące rozwój i łagodzące przebieg atopowego zapalenia skóry, a jego skuteczność jest zależna od zastosowanego stężenia. W teście aktywacji keratynocytów stwierdzono także niewielki efekt uczulający, co czyni olejek lawendowy potencjalnym składnikiem terapeutycznym w pielęgnacji i leczeniu skóry atopowej [Sato i in. 2024].

Podsumowanie

W związku z dużym zainteresowaniem konsumentów fitokosmetykami powszechne stało się stosowanie preparatów ziołowych w medycynie i kosmetologii. Obecnie coraz więcej osób sięga po naturalne kosmetyki i wybiera gabinety kosmetyczne stosujące produkty pochodzenia naturalnego [Każmierczak i Wcisło-Dziadecka 2018]. Tendencję tę potwierdzają m.in. badania Firek i Dziadkowiec [2020], które zwracają uwagę na rosnącą świadomość konsumentów, zwiększoną chęć podejmowania działań proekologicznych oraz większy poziom dbałości o zdrowie. Olejek eteryczny pozyskiwany z lawendy wąskolistnej jest produktem cieszącym się dużym zainteresowaniem już od czasów starożytnych. Z uwagi na szerokie i wielokierunkowe działanie ekstraktów rośliny wciąż prowadzone są badania dążące do odkrycia jej nowych właściwości biologicznych i fitoterapeutycznych.

Bibliografia

Adaszyńska-Skwirzyńska M., Swarczewicz M., 2014. Skład chemiczny i aktywność biologiczna lawendy lekarskiej. Wiad. Chem. 68(11–12), 1074–1093.

Adaszyńska-Skwirzyńska M., Szczurbińska D., Zych S., 2021. The use of lavender (*Lavandula angustifolia*) essential oil as an additive to drinking water for broiler chickens and its in vitro reaction with enrofloxacin. Animals (Basel) 11(6), 1535. <https://doi.org/10.3390/ani11061535>.

- Adaszyńska-Skwirzyńska M., Dziecioł M., Szczerbińska D., 2023. *Lavandula angustifolia* essential oils as effective enhancers of fluconazole antifungal activity against *Candida albicans*. *Molecules* 28(3), 1176.
<https://doi.org/10.3390/molecules28031176>
- Al-Niaame A.E., Aziz R.A., 2013. Study of *Lavandula officinalis* L. buds of flowers extracts activity against some species of multi-drug resistant clinical isolates of bacteria. *Iraqi J. Biotech.* 12(2), 82–91.
- Amira N., Howaida A., Asmaa K., Mahmoud K., 2015. Clinical and histopathological evaluation of the effectiveness of lavender oil compared with black seed oil, ostrich oil and cod liver oil on the second intention wound healing in dogs. *Alexandria J. Vet. Sci.* 46, 57. <https://doi.org/10.5455/ajvs.183256>
- Andrei F., Ersilia A., Tulcan C., Dragomirescu A., 2018. Chemical composition and the potential of *Lavandula angustifolia* L. oil as a skin depigmentant. *Rec. Nat. Prod.* 12(4), 340–349. <http://doi.org/10.25135/rnp.36.17.10.061>
- Andrys D., Kulpa D., 2016. *Lavandula* spp. essential oils-its use, composition and genetic basic of production. *Folia Pomer. Univ. Technol. Stetin.* 328, 7–9.
<https://doi.org/10.21005/AAPZ2016.39.3.01>
- Banjarnahor S.D., Artanti N., 2015. Antioxidant properties of flavonoids. *Med. J. Indonesia* 23(4), 239–244. <https://doi.org/10.13181/mji.v23i4.1015>
- Chu C.J., Kemper K.J., 2001. Lavender (*Lavandula* spp.). *Longwood Herb. Task Force* 32, 1–32.
- Crișan I., Ona A., Vârban, D., Muntean L., Vârban R., Stoie A., Mihaiescu T., Morea, A., 2023. Current trends for lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) crops and products with emphasis on essential oil quality. *Plants* 12(2), 357.
<https://doi.org/10.3390/plants12020357>
- Diass K., Merzouki M., Elfazazi K., Azzouzi H, Challioui A., Azzaoui K., Hammouti B., Touzani R., Depeint F., Ayerdi Gotor A., 2023. Essential oil of *Lavandula officinalis*: chemical composition and antibacterial activities. *Plants* 12(7), 1571.
<https://doi.org/10.3390/plants12071571>

- Dmoszyńska A., Siedlar M., 2021. Stężenie immunoglobulin. W: Pietrzyk J.J., Szajewska H.D., Mrukowicz J.Z. (red.). Podręcznik pediatrii oparty na zasadach EBM. Medycyna Praktyczna, Liszki.
- Edris A.E., 2009. Identification and absolute quantification of the major water-soluble aroma components isolated from the hydrosols of some aromatic plants. J. Essent. Oil-Bear. Plants 12(2), 155–161. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2009.10643705>
- Urząd Rejestracji Produktów Leczniczych, Wyrobów Medycznych i Produktów Biobójczych, 2023. Farmakopea Polska XIII. Warszawa.
- Firek A., Dziadkowiec J., 2020. Preferencje i zachowania konsumentów na rynku kosmetyków naturalnych. Nauki Inż. Technol. 36, 57–69. <https://doi.org/10.15611/nit.2020.36.03>
- Gawlik-Dziki U., 2004. Fenolokwasy jako bioaktywne składniki żywności. Żywn. Nauka Technol. Jakość 4(41), 29–40.
- Gezici S., 2018. Promising anticancer activity of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) essential oil through induction of both apoptosis and necrosis. Ann. Phytomed. 7(2), 38–45. <https://doi.org/10.21276/ap.2018.7.2>
- Góra J., Lis A., 2019. Najcenniejsze olejki eteryczne. Część I. Wyd. Politechniki Łódzkiej, Łódź.
- Jankowiak W., Schaschner K., 2013. Surowce roślinne w kosmetyce – fitokosmetyki. Kosmetol. Estet. 4(2), 239–241.
- Jasiński M., Mazurkiewicz E., Rodziewicz P., Figlerowicz M., 2009. Flawonoidy – budowa, właściwości i funkcja ze szczególnym uwzględnieniem roślin motylkowatych. Biotechnologia 2(85), 83.
- Kaźmierczak A., Wcisło-Dziadecka D., 2018. Wpływ świadomości konsumentów na wybór kosmetyków naturalnych. Kosmetol. Estet. 5(7), 501–503.
- Kędzia A., Hołderna-Kędzia E., Wiśniewska J., 2018. Działanie olejku lawendowego (*Oleum Lavandulae*) na bakterie beztlenowe. Post. Fitoter. 19(3), 170–175. <https://doi.org/10.25121/PF.2018.19.3.170>

- Kowalczyk S., Grymel M., Bilik J., Kula W., Wawoczny A., Grymel P., Gillner D., 2024. Selected plants as sources of natural and active ingredients for cosmetics of the future. Appl. Sci. 14, 3487. <https://doi.org/10.3390/app14083487>
- Lamer-Zarawska E., 2014. Polifenole i surowce polifenolowe. W: Lamer-Zarawska E., Chwała C., Gwardys A. (red.). Rośliny w kosmetyce i kosmetologii przeciwstarzeniowej. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Marwicka J., Niemyska K., Podraza S., 2015. Terapeutyczne właściwości aromaterapii. Kosmet. Estet. 4, 525–530.
- Michalski J., Zielińska D., 2015. Przegląd olejków eterycznych pozyskiwanych z roślin z rodziny jasnotowatych (Lamiaceae) i ich własności. Pol. J. Cosmetol. 18(1), 16–24.
- Najafian S., Afshar M., Radi M., 2022. Annual phytochemical variations and antioxidant activity within the aerial parts of *Lavandula angustifolia*, an evergreen medicinal plant. Chem. Biodivers. 19(10), e202200536. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202200536>
- Najar B., Demasi S., Caser M., Gaino W., Cioni P.L., Pistelli L., Scariot V., 2019. Cultivation substrate composition influences morphology, volatilome and essential oil of *Lavandula angustifolia* Mill. Agronomy 9(8), 411. <https://doi.org/10.3390/agronomy9080411>
- Nowicka P., Turkiewicz I., Wojdyło A., Tkacz., 2018. Kwiaty jadalne – właściwości prozdrowotne oraz potencjalne kierunki ich wykorzystania w przemyśle spożywczym. Przem. Ferment. Owoc.-Warz. 1, 8–10. <https://doi.org/10.15199/64.2018.1.1>
- Osińska E., Fornal-Pieniak B., 2022. Uprawa i przetwórstwo lawendy. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Brwinów.
- Pal J., Piotrowska A., 2018. Możliwości wykorzystania aromaterapii w gabinecie kosmetycznym. Kosmetol. Estet. 7, 631–634.
- Pałubicka A., Tkachenko H., Kurhaluk N., Truchan M., Buyun L., 2020. Właściwości biologiczne olejku lawendowego. W: Janiszewska M. (red.). Zastosowanie roślin w naukach medycznych i przyrodniczych. Wyd. Nauk. „Tygiel”, Lublin.

- Pandur E., Balatináč A., Micalizzi G., Mondello L., Horváth A., Sipos K., Horváth G., 2021. Anti-inflammatory effect of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) essential oil prepared during different plant phenophases on THP-1 macrophages. BMC Complement. Med. Ther. 21(1), 287. <https://doi.org/10.1186/s12906-021-03461-5>
- Prusinowska R., Śmigielski K., 2014. Composition, biological properties and therapeutic effects of lavender (*Lavandula angustifolia* L.). A review. Herba Pol. 60(2), 56–66. <https://doi.org/10.2478/hepo-2014-0010>
- Prusinowska R., Śmigielski K., Stobiecka A., Kunicka-Styczyńska A., 2015. Hydrolates from lavender (*Lavandula angustifolia*) – their chemical composition as well as aromatic, antimicrobial and antioxidant properties. Nat. Prod. Res. 30(4), 386–393, <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1016939>
- Radosz A., Klasik-Ciszewska S., Duda-Grychtoł K., 2018. Kosmetyczne i lecznicze zastosowanie roślin ozdobnych. Med. Rodz. 21(1A), 65–71, <http://doi.org/10.25121/MR.2018.21.1A.65>
- Sato H., Kato K., Koreishi M., Nakamura Y., Tsujino Y., Satoh A., 2024. Aromatic oil from lavender as an atopic dermatitis suppressan. PLoS One. 19(1), e0296408. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296408>
- Szońska B., 2019. Ekologiczna uprawa wybranych gatunków ziół. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie Oddział w Radomiu, Radom.
- Soares S., Grazina L., Costa J., Amaral J., Oliveira M., Mafra I., 2018. Botanical authentication of lavender (*Lavandula* spp.) honey by a novel DNA-barcoding approach coupled to high resolution melting analysis. Food Control. 86, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.046>

Abstract

Currently, natural products of plant origin, including lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.), arouse great interest of cosmetology researchers. This plant has been used in cosmetics for many years and, with its wide range of biological properties, is gaining new applications. The most valuable component of narrow-leaved lavender is its oil, which is used by the cosmetic market to produce cosmetics as well as skin and hair

care products. With the complex composition of bioactive compounds, the oil has antifungal, antibacterial, and anti-inflammatory activity; hence, it is an excellent ingredient of cleansing formulations used e.g. for acne skin care. Additionally, lavender oil exerts anti-edematous effects, reduces redness, accelerates skin regeneration, and soothes irritations. It is also successfully used in aromatherapy. *L. angustifolia* Mill. oil has anti-inflammatory effects, which may have a significant impact on the mitigation of symptoms and inflammatory reactions in atopic skin diseases. The cytotoxic properties of *L. angustifolia* Mill. oil, i.e. its potential anti-cancer effects, raise great hopes of its use in skin cancer therapy.

Keywords: *Lavandula angustifolia* Mill., lavender oil, aromatherapy, cosmetology

Babka lancetowata (*Plantago lanceolata* L.) jako źródło naturalnych związków bioaktywnych wykorzystywanych w kosmetologii

Ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.) as a source of natural bioactive compounds used in cosmetology

Anna K. Kopacz-Bednarska  <https://orcid.org/0000-0003-0664-1450>

Zakład Biologii Medycznej, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, ul. Uniwersytecka 7,
25-406 Kielce

e-mail: anna.kopacz-bednarska@ujk.edu.pl

Joanna E. Ślusarczyk  <https://orcid.org/0000-0001-8022-3244>

Zakład Biologii Środowiska, Uniwersytet Jana Kochanowskiego, ul. Uniwersytecka 7,
25-406 Kielce

Streszczenie

W kosmetologii dużym zainteresowaniem cieszą się produkty naturalne pochodzenia roślinnego. Spośród licznych roślin istotne znaczenie odgrywają te powszechnie występujące w Polsce, w tym babka lancetowata (*Plantago lanceolata* L.). Wyciągi z babki zawierają wiele cennych związków biologicznie aktywnych, m.in. polifenole, flawonoidy i glikozydy irydoidowe. Złożony skład chemiczny rośliny decyduje o wielu istotnych właściwościach farmakologicznych cechujących ekstrakty babki lancetowatej. Do najważniejszych zaliczane jest działanie przeciwgrzybicze, przeciwbakteryjne, przeciwzapalne i przeciwutleniające. Dzięki temu wyciągi z ziela *P. lanceolata* L. zmniejszają zaczerwienienia i swędzą skórę, łagodzą podrażnienia

oraz wspomagają procesy gojenia ran. Ponadto mogą chronić przed szkodliwym działaniem promieniowania UV, a także spowalniać procesy starzenia poprzez wewnątrzkomórkowe wymiatanie reaktywnych form tlenu. Babka lancetowata jest wykorzystywana do produkcji kremów pielęgnacyjnych, balsamów do ciała, toników, maseczek, żeli i płynów myjących. Obiecujące są także możliwości zastosowania rośliny w leczeniu grzybiczych i bakteryjnych zakażeń dermatologicznych.

Słowa kluczowe: *Plantago lanceolata* L., właściwości biologiczne, związki bioaktywne, kosmetologia

Wstęp

Rośliny stosowane były w kosmetyce od czasów starożytnych. Już wtedy wykorzystywano ekstrakty z różnych ich części: liści, łodyg, korzeni, kwiatów i nasion. Ze względu na zawartość licznych substancji bioaktywnych rośliny nadal stanowią przedmiot badań oceniających ich potencjał terapeutyczny oraz umożliwiających poznanie zakresu i sposobu ich wykorzystania w kosmetologii. Ważnym aspektem szerokiego stosowania fitokosmetyków jest także ograniczona liczba działań niepożądanych. Ponadto zwiększona podatność skóry na różnego rodzaju podrażnienia, egzemy czy zmiany atopowe sprawia, że coraz częściej unikamy stosowania związków syntetycznych, zamieniając je na substancje pochodzenia naturalnego. Spośród licznych roślin wykorzystywanych w kosmetologii dużą uwagę skupiają te powszechnie występujące w Polsce na polach i łąkach, m.in. babka lancetowata (*Plantago lanceolata* L.). Dlatego celem niniejszej pracy było przedstawienie najważniejszych informacji na temat właściwości biologicznych wybranych związków aktywnych zawartych w *P. lanceolata* L., a także możliwości wykorzystania rośliny w fitokosmetykach.

Babka lancetowata (*P. lanceolata* L.)

Babka lancetowata (*P. lanceolata* L.) jest byliną wieloletnią z rodziny babkowatych (Plantaginaceae), zwaną też babką wąskolistną lub jęczyzkami polnymi (ryc. 1A). Swą nazwę zawdzięcza kształtom blaszki liściowej, które tworzą rozetę długich

i wąskich, lancetowatych i całobocznych liści o charakterystycznie zaokrąglonych końcach, często leżących na ziemi (ryc. 1B, C). Roślina powszechnie występuje niemal w każdym zakątku świata, zwłaszcza w dużej części Europy, Afryce Północnej i Azji Zachodniej [Gajewska i in. 2021, Abate i in. 2022, Kowalczyk i in. 2024]. W Polsce w formie dzikiej zasiedla pola, łąki, pastwiska, przydroża, trawniki, nieużytki rolne oraz wszelkiego rodzaju tereny zielone. W strefie klimatu umiarkowanego stanowi często chwast w uprawach koniczyny, lucerny oraz zbóż. Kwitnie od maja do września, tworząc gęste kwiatostany osadzone na szczycie bezlistnych łodyg kwiatowych, długich nawet do 40 cm (ryc. 1A, D, E) [Kowalczyk i in. 2024].

Liście babki były stosowane w leczeniu już od czasów starożytnych [Gajewska i in. 2021]. W medycynie ludowej – ze względu na silne właściwości przeciwbakteryjne, przeciwzapalne i moczopędne – ekstrakt z babki lancetowatej był pomocny w łagodzeniu objawów przewlekłego kaszlu, infekcji dróg moczowych oraz stanów zapalnych żołądka. Skutecznie stosowano go także w procesie gojenia ran, obrzęków kończyn czy też w miejscach ukąszenia owadów [Kowalczyk i in. 2024]. Z uwagi na szeroki zakres właściwości leczniczych z powodzeniem mogą być wykorzystywane w fitoterapii wszystkie morfologiczne części *P. lanceolata* L. Potencjał leczniczy wykazują zarówno wyciągi z korzenia, liści, jak i łodygi rośliny [Abate i in. 2022], najcenniejsze są jednak ekstrakty z liści. Liście pozyskiwane są głównie w stanie naturalnym, ale ze względu na wzrost zapotrzebowania oraz wyczerpujące się naturalne zasoby rośliny obecnie практикуje się także uprawę babki lancetowatej, m.in. w Wielkiej Brytanii [Abate i in. 2022]. *Plantago lanceolata* L. zawiera wiele cennych związków bioaktywnych, w tym flawonoidy, polifenole, alkaloidy, terpenoidy, garbniki, glikozydy irydoidowe, pektyny (ryc. 2) [Gajewska i in. 2021, Kowalczyk i in. 2024]. Złożony skład chemiczny rośliny decyduje o jej szerokich właściwościach fitokosmetycznych [Nichita i in. 2016]. Zidentyfikowane związki biologicznie czynne zawarte w ekstraktach *P. lanceolata* L. stanowią podstawę licznych badań prowadzonych w warunkach zarówno *in vitro*, jak i *in vivo*.



Ryc. 1. Babka lancetowata (*P. lanceolata* L.). Pokrój rośliny (A), liście (B, C), kwiatostan (D, E) (fot. A. Kopacz-Bednarska)



Ryc. 2. Wybrane związki bioaktywne zawarte w *P. lanceolata* L. (oprac. za: Ogonowski i Kołkowska [2011], Grigore i in. [2015], Abate i in. [2022])

Związki biologicznie czynne zawarte w *P. lanceolata* L.

Glikozydy irydoidowe

Według niektórych źródeł glikozydy irydoidowe są ważnymi składnikami *P. lanceolata* L. i mogą stanowić 2–3% biomasy rośliny. Głównymi związkami irydoidowymi zawartymi w *P. lanceolata* L. są aukubina i katalpol. Zawartość irydoidów w roślinie jest różnorodna i uzależniona od wielu czynników, m.in. pory zbioru, rozwoju i dojrzałości rośliny oraz zebranej części morfologicznej [Ogonowski i Kołkowska 2011]. Przykładowo młode i średnie liście charakteryzują się wyższą zawartością katalpolu i aukubiny niż dojrzałe [Grigore i in. 2015]. Aukubina w liściach występuje w największym stężeniu w lipcu, z kolei najmniej jest jej w kwietniu i w maju. Odmiennie jest w przypadku katalpolu, gdyż jego stężenie jest wysokie w kwietniu [Ogonowski i Kołkowska 2011]. Na poziom glikozydów irydoidowych wpływają także parametry środowiskowe, tj. składniki odżywcze i jakość gleby, pora dnia, czynniki meteorologiczne [Rahamouz-Haghighi 2023]. Większość irydoidów, w tym aukubina i katalpol, mogą być stosowane w ziołolecznictwie ze względu na szeroki zakres właściwości biologicznych, ponieważ wykazują silne działanie przeciwbakteryjne, przeciwgrzybicze, przeciwutleniające i przeciwzapalne, co opisano w licznych badaniach eksperymentalnych prowadzonych w warunkach *in vitro* [Bhattamisra i in. 2019, Kartini i in. 2023]. Powyższe właściwości glikozydów irydoidowych mogą odgrywać istotną rolę w pielęgnacji i leczeniu chorób skóry. Dlatego w badaniach Dąbrowskiej i Nowak [2021] oceniony został wpływ kosmetycznej makroemulsji zawierającej aukubinę na parametry skóry w grupie 27-letnich pacjentek. W badaniach wykazano efektywny wpływ związku, który zmniejszał transepidermalną utratę wody (TEWL), a także zwiększał poziom nawilżenia i elastyczność skóry.

Polifenole

Spośród glikozydów fenylopropanoidowych szerokim i wieloaspektowym działaniem terapeutycznym w kosmologii charakteryzuje się werbaskozyd – związek o charakterze hydrofilowym. Li i in. [2018] zaobserwowali, że werbaskozyd łagodzi

zmiany skórne w objawach atopowego zapalenia skóry w zwierzęcym modelu eksperymentalnym. Działanie to prawdopodobnie wynika z aktywności przeciwzapalnej, potwierdzonej wynikami badań serologicznych, które ujawniły obniżone stężenie cytokin IgE i Th2 we krwi. Werbaskozyd hamował także produkcję cytokin prozapalnych w miejscu uszkodzenia skóry, co może łagodzić skórne stany zapalne [Li i in. 2018]. Poprawa stanu skóry możliwa jest także dzięki funkcji przeciwutleniającej wskazanego związku – działa on jako wewnątrzkomórkowy wymiatacz rodników tlenowych, wykazując również właściwości przeciwstarzeniowe w produktach dermokosmetycznych [Vertuani in. 2011]. Z kolei inny przedstawiciel polifenoli – hesperydyna, może być obiecującym czynnikiem o potencjale kosmetycznym, wykorzystywanym do pielęgnacji skóry, jak również terapeutycznym, umożliwiającym leczenie problemów skórnych. Reguluje wzrost mieszków włosowych w łysieniu androgenowym oraz może wspomagać leczenie trądziku różowatego, łuszczycy i atopowego zapalenia skóry. Ponadto hesperydyna wykazuje efekt fotoochronny, zmniejszając uszkodzenia skóry wywołane promieniowaniem UV. Dzięki temu może być wykorzystywana jako składnik kremów przeciwsłonecznych. Hesperydynę cechuje zmniejszone wchłanianie przez skórę, dlatego obecnie trwają badania mające na celu opracowanie metod zwiększenia biodostępności tego związku [Rodrigues i Pintago 2024].

Flawonoidy

Liczną grupę związków polifenolowych stanowią flawonoidy. Jednym z istotnych flawonoidów zawartych w ekstrakcie *P. lanceolata* L. jest apigenina. Biorąc pod uwagę korzystny jej wpływ w przedklinicznych modelach zaburzeń dermatologicznych, należy uwzględnić możliwość wykorzystania apigeniny w leczeniu chorób skóry [Gendrisch i in. 2020]. Badania potwierdzają pozytywne działanie wskazanego flawonoidu w bielactwie, zapaleniu skóry, gojeniu ran, uszkodzeniach skóry spowodowanych promieniowaniem UV, opóźnianiu procesu starzenia, a także w leczeniu niektórych rodzajów raka skóry. Biologiczna aktywność związku polega głównie na hamowaniu stanu zapalnego poprzez tłumienie cytokin prozapalnych i wewnątrzkomórkowych mediatorów zapalnych, a także wzmożonej obronie antyoksydacyjnej [Sanaye i in. 2022]. Zapobieganiu dermatozom może

przeciwdziałać również luteolina – kolejny flawonoid zidentyfikowany w wyciągach babki lancetowatej. Hamując mediatory prozapalne (np. IL-6, IL-8) i regulując zapalne szlaki sygnałowe, luteina zmniejsza reakcje zapalne skóry. Może zatem skutecznie przeciwdziałać chorobom skóry o podłożu zapalnym, w tym łuszczycy, a także kontaktowemu i atopowemu zapaleniu skóry. Ponadto ogranicza niekorzystne efekty fotobiologiczne w skórze, dlatego może wspomagać również terapię przeciwstarzeniową i gojenie ran [Gendrisch i in. 2020].

Biologiczna aktywność *P. lanceolata* L.

Obecnie prowadzonych jest wiele badań oceniających właściwości bioaktywnych komponentów zawartych w różnych częściach *P. lanceolata* L. Wśród nich najczęściej wymieniana jest aktywność przeciwgrzybicza, przeciwbakteryjna, przeciwzapalna i przeciwutleniająca.

Właściwości przeciwgrzybicze i przeciwbakteryjne

Obiecujące są możliwości wykorzystania bioaktywnych komponentów babki lancetowatej w leczeniu grzybiczych i bakteryjnych zakażeń dermatologicznych. Właściwości przeciwgrzybicze ekstraktów z liści babki lancetowatej potwierdzono w badaniach Jiru i Getahuna [2023]. Aktywność przeciwgrzybicza została oceniona przeciw dermatomykozie wywołanej trzema rodzajami patogenów chorobotwórczych: *Candida albicans*, *Malassezia furfur* i *M. globosa*. Wyniki tych badań jednoznacznie wskazują na możliwość wykorzystania rośliny w leczeniu powierzchniowych zakażeń grzybiczych u ludzi [Jiru i Getahun 2023]. Zasadność medycznego zastosowania ekstraktów z liści *P. lanceolata* L. potwierdziły badania Fayery i in. [2018]. W przeprowadzonych badaniach wykazano silne działanie przeciwdrobnoustrojowe rośliny wobec bakterii Gram-dodatnich: *Staphylococcus aureus*, *S. agalactiae*, i Gram-ujemnych: *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* [Fayera i in. 2018]. Opisane w literaturze testy aktywności przeciwgrzybiczej i przeciwdrobnoustrojowej dowodzą o możliwościach zastosowania wyciągów z babki lancetowatej w produktach kosmetycznych, np. w żelach do rąk, mydłach, nawilżanych chusteczkach o działaniu antybakteryjnym, preparatach do higieny intymnej czy też tonikach i kremach do

pielęgnacji skóry trądzikowej. Cechą odpowiednio skomponowanych naturalnych produktów kosmetycznych jest funkcja zarówno myjąca, jak i lecznicza.

Właściwości przeciwzapalne

Według danych literaturowych wyciągi z ziela babki lancetowatej hamują stany zapalne, a ta aktywność jest porównywalna z przeciwzapalnym działaniem hydrokortyzonu czy diklofenaku [Dawid-Pać 2013]. O właściwościach przeciwzapalnych babki lancetowatej decyduje m.in. kwas salicylowy zawarty w ekstrakcie liści, który wspomaga także działanie oczyszczające i ochronne kosmetyków opartych na wyciągach z *P. lanceolata* L. [Kowalczyk i in. 2024]. Za aktywność przeciwzapalną *P. lanceolata* L. odpowiadają również flawonoidy [Gendrisch i in. 2020] i fitosterole [Kowalczyk i in. 2024]. Przeciwzapalna aktywność fitosteroli ma istotne znaczenie w kosmetologii, przeciwdziałając obrzękom i zaczerwienieniu skóry [Kowalski i in. 2024]. Z kolei polifenole, w tym akteozyd i plantamajozyd, zmniejszając poziom 5-lipooksygenazy, a także hamując produkcję kwasu 5-hydroksyeikozatetraenowego i leukotrienu B₄, znacznie ograniczają obrzęk zapalny [Dawid-Pać 2013]. Właściwości przeciwzapalne są podstawą do wykorzystania ekstraktów rośliny w postaci okładów i płukanek w leczeniu wspomagającym trudno gojących się ran i stanów zapalnych skóry, do pielęgnacji cery trądzikowej i łojotokowej, a także do produkcji środków stosowanych w leczeniu chorób skóry [Dawid-Pać 2013, Gajewska i in. 2021].

Właściwości antyoksydacyjne

Aktywność przeciwutleniająca związków zawartych w *P. lanceolata* L. została oceniona metodą chemiluminescencji m.in. przez Nichitę i in. [2016]. Wykazano, że ekstrakty babki lancetowatej cechuje wysoka aktywność antyoksydacyjna (nawet na poziomie 84–96%). Dlatego preparaty kosmetyczne zawierające wyciągi z *P. lanceolata* L. wydają się dobrym rozwiązaniem zapewniającym skuteczną pielęgnację przeciwstarzeniową, nadając skórze elastyczności oraz przedłużając jej młody wygląd [Gajewska i in. 2021]. Właściwości przeciwutleniające wykazują związki fenolowe zawarte w *P. lanceolata* L., tj. werbaskozyd, kwercetyna, apigenina,

rutyna, kwas ferulowy i kwas chlorogenowy. W badaniach przeprowadzonych przez Sannę i in. [2022] zaobserwowano, że różne warunki środowiskowe w czasie wzrostu rośliny – a także sezonowość pór roku – mogą wpływać na zawartość fenoli, a tym samym na właściwości przeciwutleniające wyciągów rośliny. Stwierdzono także, że poziom aktywności antyoksydacyjnej jest wprost proporcjonalny do stężenia związków polifenolowych zawartych w ekstraktach *P. lanceolata* L. [Nichita i in. 2016]. Zbyt długie przechowywanie roślinnego ekstraktu może spowodować degradację cennych substancji, a tym samym obniżać aktywność przeciwutleniającą [Gajewska i in. 2021].

Inne działanie protekcyjne i lecznicze

Plantago lanceolata L. może być z dużym powodzeniem stosowana także w procesie leczenia ran. Kurt i in. [2018] zaobserwowali skuteczność działania ekstraktów z babki lancetowatej w gojeniu ran u myszy, wskazując na zwiększoną produkcję kolagenu i regenerację komórek nabłonkowych. Poprawę w gojeniu ran skóry u szczurów wykazali także Kováč i in. [2015], obserwując w badaniach aktywację miofibroblastów i odbudowę macierzy pozakomórkowej.

Celem nowoczesnych kosmetyków przeciwstarzeniowych jest poprawa wyglądu skóry poprzez stymulację i regenerację naturalnych procesów fizjologicznych, które wpływają na stan i parametry skóry, a także ochrona przed niekorzystnym działaniem niektórych czynników, m.in. promieniowaniem UV i reaktywnymi metabolitami tlenu, przyspieszającymi procesy starzenia [Nizioł-Łukaszewska i in. 2019]. Badania przeprowadzone przez Nizioł-Łukaszewską i in. [2019] wykazały, że ekstrakty z *P. lanceolata* L. mogą być wielofunkcyjnymi składnikami kosmetyków, mającymi zdolność pochłaniania promieniowania UV, co czyni je także potencjalnymi komponentami preparatów przeciwsłonecznych.

Podsumowanie

Szeroki zakres właściwości związków bioaktywnych zawartych w wyciągach roślinnych sprawia, że produkty pochodzenia naturalnego z powodzeniem

i skutecznością są stosowane w kosmetologii. Fitokosmetyki często cechuje wyższa biodostępność w porównaniu z tradycyjnymi kosmetykami syntetycznymi. Kosmetyki oparte na wyciągach roślinnych używane są powszechnie do pielęgnacji skóry bez powodowania podrażnień. Popularny na rynku kosmetycznym jest także wyciąg z babki lancetowatej. Obecnie ekstrakty z *P. lanceolata* L. wykorzystywane są w kosmetologii do produkcji kremów, balsamów, toników oraz maseczek. Babka lancetowata wciąż jest jednak przedmiotem badań, które mają na celu ocenę skuteczność działania związków bioaktywnych zawartych w wyciągu *P. lanceolata* L. w zapobieganiu i terapii przewlekłych schorzeń skórnych.

Bibliografia

- Abate L., Bachheti R.K., Tadesse M.G., Bachheti A., 2022. Ethnobotanical uses, chemical constituents, and application of *Plantago lanceolata* L. J. Chem. 2022, 1532031. <https://doi.org/10.1155/2022/1532031>
- Bhattamisra S.K., Yap K.H., Rao V., Choudhur H., 2019. Multiple biological effects of an iridoid glucoside, catalpol, and its underlying molecular mechanisms. Biomolecules 10(1), 32. <https://doi.org/10.3390/biom10010032>
- Dawid-Pač R., 2013. Medicinal plants used in treatment of inflammatory skin diseases. Postep. Derm. Alergol. 30(3), 170–177. <https://doi.org/10.5114/pdia.2013.35620>
- Dąbrowska M., Nowak I., 2021. Noninvasive evaluation of the influence of aucubin-containing cosmetic macroemulsion on selected skin parameters. J. Cosmet. Dermatol. 20(3), 1022–1030. <https://doi.org/10.1111/jocd.13649>
- Fayera S., Babu G.N., Dekebo A., Bogale Y., 2018. Phytochemical investigation and antimicrobial study of leaf extract of *Plantago lanceolata*. Nat. Prod. Chem. Res. 6, 2. <https://doi.org/10.4172/2329-6836.1000311>
- Gajewska S., Siemak J., Biliska J., Nowak A., Klimowicz A., 2021. Effect of storage on the antioxidant properties of *Plantago lanceolata* L. and *Plantago major* L. alcoholic extracts. Pomeranian J. Life Sci. 67(4), 52–56. <https://doi.org/10.21164/pomjlifesci.759>

Gendrisch F., Esser P.R., Schempp C.M., Wölfl U., 2020. Luteolin as a modulator of skin aging and inflammation. *BioFactors*. 47(2), 170–180.

<https://doi.org/10.1002/biof.1699>

Grigore A., Bubueanu C., Pirvu L., Ionita L., Toba G., 2015. *Plantago lanceolata* L. crops – source of valuable raw material for various industrial applications. *Sci. Papers A, Agron.* 58, 207–214.

Jiru T.M., Getahun M., 2023. Antifungal activity of *Plantago lanceolata* and *sida ovata* leaf extracts against dermatomycotic fungi. *Evid. Based Complement. Alternat. Med.* 2023, 9957892. <https://doi.org/10.1155/2023/9957892>

Kartini K., Irawan M.A., Setiawan F., Jayan N.I.E., 2023. Characteristics, isolation methods, and biological properties of aucubin. *Molecules* 28(10), 4154.

<https://doi.org/10.3390/molecules28104154>

Kowalczyk S., Grymel M., Bilik J., Kula W., Wawoczny A., Grymel P., Gillner D., 2024. Selected plants as sources of natural and active ingredients for cosmetics of the future. *Appl. Sci.* 14, 3487. <https://doi.org/10.3390/app14083487>

Kováč I., Ďurkáč J., Holý M., Jakubčová M., Perželová V., Mučaji P., Švajdlenka E., Sabol F., Legáth J., Belák J., Smetana Jr K., Gál P., 2015. *Plantago lanceolata* L. water extract induces transition of fibroblasts into myofibroblasts and increases tensile strength of healing skin wounds. *J. Pharm. Pharmacol.* 67(1), 117–25.

<https://doi.org/10.1111/jphp.12316>

Kurt B., Bilge N., Sözmen M., Aydın U., Önyay T., Özaydın I. 2018. Effects of *Plantago lanceolata* L. extract on full-thickness excisional wound healing in a mouse model. *Biotech. Histochem.* 93(4), 249–257.

<https://doi.org/10.1080/10520295.2017.1421773>

Li Y., Yu H., Jin Y., Li M., Qu C., 2018. Verbascoside alleviates atopic dermatitis-like symptoms in mice via its potent anti-inflammatory effect. *Int. Arch. Allergy Immunol.* 175 (4), 220–230. <https://doi.org/10.1159/000486958>

Nichita C., Neagu G., Cucu A., Vulturescu V., Berteșteanu S.V.G., 2016. Antioxidative properties of *Plantago lanceolata* L. extracts evaluated by chemiluminescence method. *AgroLife Sci. J.* 5(2), 95–102.

- Nizioł-Łukaszewska Z., Gaweł-Bęben K., Rybczyńska-Tkaczyk K., Jakubczyk A., Karaś M., Bujak T., 2019. Biochemical properties, UV-protecting and fibroblast growth-stimulating activity of *Plantago lanceolata* L. extracts. *Industrial Crops Prod.* 138, 111453. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.06.016>
- Ogonowski J., Kołkowska A., 2011. Preparaty kosmetyczne na bazie ekstraktu z babki lancetowatej. *LAB Lab. Aparat. Bad.* 16(5), 17–23.
- Rahamouz-Haghighi S., Bagheri K., Sharafi A., 2023. Antibacterial activities and chemical compounds of *Plantago lanceolata* (Ribwort plantain) and *Plantago Major* (Broadleaf plantain) leaf extracts. *Pharm. Biomed. Res.* 9(3), 183–200. <http://doi.org/10.32598/PBR.9.3.1061.4>
- Rodrigues C.V., Pintado M., 2024. Hesperidin from orange peel as a promising skincare bioactive. An overview. *Int. J. Mol. Sci.* 25, 1890. <https://doi.org/10.3390/ijms25031890>
- Sanaye P.M., Mojaveri M.R., Ahmadian R., Jahromi M.S., Bahramsoltani R., 2022. Apigenin and its dermatological applications. a comprehensive review. *Phytochemistry* 203, 113390. <http://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113390>
- Sanna F., Piluzza G., Campesi G., Molinu M.G., Re G.A., Sulas L., 2022. Antioxidant contents in a mediterranean population of *Plantago lanceolata* L. exploited for quarry reclamation interventions. *Plants* 11, 791. <https://doi.org/10.3390/plants11060791>
- Vertuani S., Beghelli E., Scalambra E., Malisardi G., Copetti S., Toso R.D., Baldisserotto A., Manfredini S., 2011. Activity and stability studies of verbascoside, a novel antioxidant, in dermo-cosmetic and pharmaceutical topical formulations. *Molecules* 16, 7068–7080. <https://doi.org/10.3390/molecules16087068>

Abstract

Natural products of plant origin are very popular in cosmetology. Among the numerous plants, species that are commonly found in Poland, e.g. ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.), play an important role. Its extracts contain a number of valuable biologically active compounds, e.g. polyphenols, flavonoids, and iridoid glycosides. The complex chemical composition of the plant determines many

important pharmacological properties of ribwort plantain extracts. The most important are their antifungal, antibacterial, anti-inflammatory, and antioxidant effects. Extracts from *P. lanceolata* L. herb reduce skin redness and pruritus, soothe irritations, and support wound healing processes. Additionally, they have a protective effect against the harmful effects of UV radiation and slow down the aging process through intracellular scavenging of oxygen radicals. Ribwort plantain is used in the production of skin care creams, body lotions, tonics, masks, gels, and washing liquids. The potential of the plant to be used in the treatment of fungal and bacterial dermatological infections is equally promising.

Keywords: *Plantago lanceolata* L., biological properties, bioactive compounds, cosmetology

Żmijowiec zwyczajny (*Echium vulgare*) oraz żmijowiec czerwony (*E. russicum*) jako surowce o potencjale kosmetycznym i farmakologicznym

Echium vulgare and *E. russicum* as raw materials
with cosmetic and pharmacological potential

Ewelina Chrzanowska  <https://orcid.org/0000-0006-1957-5017>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
e-mail: ewelina.chrzanowska@up.lublin.pl

Aleksandra Łuszczek  <https://orcid.org/0009-0000-1385-6260>

Zuzanna Łabęcka  <https://orcid.org/0009-0002-2739-978X>

Studenckie Koło Naukowe Biologów, Sekcja Biokosmetologii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

Streszczenie

Współczesne trendy konsumenckie sprawiają, że przemysł kosmetyczny i farmaceutyczny poszukuje nowych surowców roślinnych do pozyskiwania bioskładników aktywnych. Żmijowiec zwyczajny (*Echium vulgare*) oraz żmijowiec czerwony (*E. russicum*) z rodziny Boraginaceae są roślinami obfitującymi w cenne substancje, np. kwasy tłuszczowe, związki fenolowe, olejki eteryczne. Zastosowanie ich w produktach kosmetycznych i farmaceutycznych może wywierać korzystne działanie zdrowotne oraz zachęcać konsumentów do zakupu.

Celem pracy była analiza właściwości i możliwości zastosowań *E. vulgare* oraz *E. russicum* w kosmetologii i farmakologii. Rośliny *Echium* zawierają wiele cennych składników aktywnych (m.in. kwas rozmarynowy, szikoninę, alantoinę, kwas γ -linolenowy), których wykorzystanie w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym przynosi pozytywne efekty (np. działanie przeciwstarzeniowe, szybsze gojenie ran, działanie przeciwzapalne).

Słowa kluczowe: kosmetyki, antyoksydanty, kwas rozmarynowy, kwas γ -linolenowy, szikonina

Wstęp

Surowce roślinne są produktami cenionymi przez przemysł kosmetyczny i farmaceutyczny ze względu na dużą zawartość składników bioaktywnych, którymi zainteresowanie stale rośnie [Chermahini i in. 2011]. Wzrastająca świadomość społeczeństwa sprawia, że konsumenci coraz chętniej wybierają produkty zawierające w składzie bioskładniki i unikają substancji syntetycznych w kosmetykach [Chermahini i in. 2011]. Gatunki z rodzaju *Echium* L. (żmijowiec), należące do rodziny Boraginaceae, obfitują w substancje aktywne, które wywierają korzystny wpływ na organizm, wspomagając metabolizm, a także wygląd skóry [Nićiforović i in. 2010, Jin i in. 2020, Dresler i in. 2017, Dąbrowska i in. 2016]. Rośliny te wyróżniają się obecnością kwasów organicznych oraz pigmentów naftochinonowych, np. szikoniny [Dresler i in. 2015]. Zawierają jednak też alkaloidy pirolizydynowe, które działają toksycznie i genotoksycznie [Gałkowska i in. 2023].

W ziele *E. vulgare* i *E. russicum* obecna jest alantoina będąca związkiem organicznym (należącym do ureidów), pochodną puryny [Arct i Depta 2016]. Zwiększa ona elastyczność skóry, regeneruje i przyspiesza gojenie się ran, dlatego znajduje zastosowanie w preparatach kosmetycznych, m.in. przeznaczonych dla dzieci i niemowląt.

Obecny w oleju z nasion żmijowca kwas γ -linolenowy (GLA) wspiera ochronną barierę skórną, związki fenolowe wpływają na opóźnianie procesów starzenia się skóry, a kwas rozmarynowy dzięki działaniu przeciwzapalnemu może wspomagać

terapię trądziku [Arct i Depta 2016, Materac i in. 2013, Mączka i in. 2022]. Rośliny z rodzaju *Echium* znajdują także zastosowanie w tzw. kosmetykach kolorowych, ponieważ zawierają szikoninę, czyli czerwony barwnik często stosowany do nadawania koloru pomadkom do ust [Malik i in. 2023].

Zdrowotny wpływ ziela żmijowca na organizm jest znany od setek lat. W przeszłości surowiec ten używany był jako neutralizator toksyn po ukąszeniu przez żmiję. Udowodniono, że ziele żmijowca, stosowane przy siniakach i przerwaniu ciągłości naskórka, wspomaga gojenie się ran [Jin i in. 2020]. Napary z ziela wykorzystywane są do poprawy samopoczucia, zmniejszania stanów lękowych i objawów depresji [Serafin i in. 2023]. Ponadto wykazano, że żmijowiec obniża poziom cholesterolu we krwi [Surette i in. 2004]. Liczne doniesienia wskazują także na działanie przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe, przeciwzapalne, przeciwutleniające, co umożliwia wielorakie zastosowania żmijowca [Nićiforović i in. 2010, Jin i in. 2020, Lee i in. 2008].

Charakterystyka roślin

Nazwa rodzajowa żmijowca pochodzi od greckiego słowa *εχίς* (echis), czyli „żmija”. Nazwę tę nadał Dioskurydes, który zauważył podobieństwo nasion rośliny do głowy tego gada. Angielskie i francuskie nazwy zwyczajowe, również nawiązujące do żmii, wywodzą się od zdolności rośliny do neutralizowania jadu [Klemow i in. 2001].

Echium vulgare L. (żmijowiec zwyczajny) oraz *Echium russicum* J.F. Gmel. (żmijowiec czerwony) należą do rodziny Boraginaceae Juss. (ogórecznikowate) i są dwuletnimi, monokarpicznymi bylinami [Luebert i in 2016]. Żmijowiec zwyczajny osiąga 30–100 cm wysokości, a jego korzenie są grube, słabo rozgałęzione i kurczliwe, typu palowego, długie – mogą nawet przekraczać 1 m [Albertson 1921]. Osobniki wegetatywne mają rozetę owłosionych, całobrzegich liści. Liście łodygowe są naprzemianległe, zbiegające po łodydze. Dojrzałe osobniki wytwarzają rozgałęzione pędy zakończone kwiatostanami wierzchołkowymi (typu skrętek) [Napp-Zinn 1974, Klemow i in. 2001]. Kwiatostany zawierają liczne efektowne kwiaty. Kielich jest 5-działkowy. Korona jest początkowo różowa, podczas kwitnienia staje się jasnoniebieska lub fioletowa. Kwiaty rozwijające się w czerwcu i lipcu mają

koronę dzwonkowątą lub lejkowątą, natomiast korona kwiatów rozwijających się od sierpnia do października jest rurkowątą. Każdy kwiat wytwarza pięć pręcików [Crompton i Wojtas 1993]. Owocami są szare lub brązowe rozłupki [Klemow i in. 2001]. Żmijowiec zwyczajny jest rozpowszechniony w Polsce i występuje na rumowiskach, przydrożach, miedzach na glebach lekkich piaszczystych oraz żyznych gliniastych [Król 2004]. Żmijowiec czerwony objęty jest w Polsce ochroną ścisłą [Czarnecka i Kucharczyk 2001]. Jest to roślina wieloletnia, dorastająca do 1 m wysokości. Jej łodyga jest nierozgałęziona, sztywna i pokryta ciemnymi punktami. Różyczkowe liście są podługowato-lancetowate. Liście łodygowe są dużo mniejsze. Kwiatostan *E. russicum* typu skrętek składa się z wielu gęsto ułożonych kwiatów o krwistoczerwonych płatkach korony, osadzonych na krótkich szypułkach [Vladimirov i in. 2023]. Roślina ta kwitnie od maja do sierpnia i jest zapylana głównie przez trzmiele. Owoce to jajowato-trójkątne rozłupki [Chmielewski 2007]. Żmijowiec czerwony rośnie na silnie nasłonecznionych zboczach wapiennych lub lessowych o ekspozycji południowej i południowo-wschodniej [Czarnecka i Kucharczyk 2001]. Występuje w południowo-wschodniej Europie, od Moraw i Austrii po południową i środkową Rosję, a także w Turcji, na Kaukazie i w północnej Armenii [Chmielewski 2007].

Gatunki *E. vulgare* oraz *E. russicum* są roślinami nektarodajnymi. W przypadku *E. russicum* średnia masa nektaru wyprodukowanego przez 10 kwiatów w trakcie ich całego cyklu życia wynosi 29 mg przy stężeniu cukrów na poziomie 58% [Chwil i Weryszko-Chmielewska 2007]. Wydajność miodowa *E. vulgare* sięga 400 kg/ha. W ciągu doby kwiat *E. vulgare* wydziela około 1,64 mg nektaru, który zawiera 25% cukrów w swoim składzie [Tichonow i in. 2017].

Składniki bioaktywne

Zgodnie z informacjami przekazywanymi przez Światową Organizację Zdrowia na całym świecie można wyróżnić około 20 000 roślin, które klasyfikowane są jako lecznicze zawierające szereg składników bioaktywnych [Patra i in. 2018]. Rozwój nauki oraz zwiększająca się świadomość społeczeństwa sprawiają, że konsumenci preferują produkty pozbawione chemicznych substancji w składzie kosmetyków.

Najczęściej unikany składnikami preparatów kosmetycznych są parabeny, konserwanty pochodzenia syntetycznego, silikon, siarczany [Chermahini i in. 2011].

Rośliny z rodzaju *Echium* zawierają wiele cennych substancji bioaktywnych o znaczących właściwościach kosmetycznych i farmakologicznych (tab. 1). *Echium vulgare* wyróżnia się wysoką zawartością flawonoidów, osiągając 105 mg RU/g suchego ekstraktu etanolowego (w przeliczeniu na rutynę) [Nićiforović i in. 2010]. Posiada także dość wysoki poziom związków fenolowych, wynoszący 64 mg GAE/g suchego ekstraktu etanolowego (podany w równoważnikach kwasu galusowego). Ponadto *E. vulgare* wykazuje znaczną całkowitą pojemność antyoksydacyjną, wynoszącą 145 mg AA/g suchego ekstraktu etanolowego (wyrażono w liczbie równoważników kwasu askorbinowego) [Nićiforović i in. 2010]. Kwasami fenolowymi w składzie *E. russicum* są między innymi kwas salwianolowy a oraz kwas litospermowy [Jin i in. 2020]. W przypadku *E. vulgare* wykryto obecność kwasów kawowego i ferulowego. Ponadto w korzeniach *E. russicum* i *E. vulgare* odnotowano obecność rutyny, która wzmacnia naczynia krwionośne i przeciwdziała teleangiektazji, a także spowalnia procesy starzenia się skóry [Jin i in. 2020].

W zależności od terminu wysiewu oraz materiału glebowego nasiona żmijowca zwyczajnego zawierają 18,9–22,7% oleju, którego skład w 10,2–10,5% stanowi kwas γ -linolenowy (GLA) oraz w 9,5–10,9% kwas stearydynowy (SDA) [Król 2004]. W nasionach gatunku *E. russicum* odnotowano około 18,6% oleju, w tym w jego składzie 15,8% GLA i 10,6% SDA [Guil-Guerrero i in. 2003].

Żmijowiec zwyczajny jest źródłem alantoiny, która ma właściwości nawilżające i regenerujące naskórek [Dąbrowska i in. 2017]. W skład *E. vulgare* wchodzi także krzemionka, śluz, garbniki oraz olejki eteryczne [Serafin i in. 2023]. Sucha masa (s.m.) żmijowca zwyczajnego zawiera 2,44% potasu, 2,38% wapnia i 1,26% azotu. Stwierdzono także obecność innych składników mineralnych, takich jak fosfor, magnez oraz sód. Wykryto również występowanie metali ciężkich, m.in. miedzi (7,48 mg/kg s.m.) oraz cynku (19,6 mg/kg s.m.) [Siuta i Sienkiewicz 2014]. Mimo wielu korzystnych składników żmijowiec zwyczajny zawiera także substancje toksyczne, w tym alkaloidy pirolizydynowe, które mogą powodować ciężkie zatrucia

pokarmowe [Gałkowska i in. 2023]. Przy odpowiednim dawkowaniu alkaloidy pirolizydynowe mogą mieć korzystne działanie (np. uspokajające) [Serafin i in. 2023].

Tabela 1. Związki biologicznie aktywne występujące w żmijowcu zwyczajnym i żmijowcu czerwonym

Nazwa związku	Występowanie	Aktywność	Źródło
Alantoina	<i>E. vulgare</i> , <i>E. russicum</i>	działanie nawilżające, wpływ na regenerację naskórka	Dąbrowska i in. 2017, Dresler i in. 2017
Flawonoidy	<i>E. vulgare</i>	działanie antyoksydacyjne	Nićiforović i in. 2010
Kwasy fenolowe (salwianolowy, litospermowy, kawowy, ferulowy, rozmarynowy*)	<i>E. vulgare</i> , <i>E. russicum</i>	działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne, przeciwwirusowe, przeciwnowotworowe	Jin i in. 2020, Zduńska-Pęciak i in. 2022, Ahn 2017
Kwasy tłuszczowe (γ -linolenowy, stearydynowy)	<i>E. vulgare</i> , <i>E. russicum</i>	wpływ na barierę lipidową skóry, ochrona przed wnikaniem drobnoustrojów, alergenów, toksyn	Materac i in. 2013, Guil- -Guerrero i in. 2003
Kwas rozmarynowy	<i>E. vulgare</i>	przyspiesza gojenie ran, wspomaga leczenie trądziku oraz AZS, działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne, przeciwdrobnoustrojowe	Dresler i in., 2017, Lee i in. 2008
Rutyna	<i>E. vulgare</i> , <i>E. russicum</i>	wspieranie działania układu krwionośnego, działanie przeciwstarzeniowe, antyoksydacyjne	Jin i in. 2020
Szikonina	<i>E. vulgare</i> , <i>E. russicum</i>	działanie przeciwdrobnoustrojowe, przeciwzapalne, przeciwutleniające	Malik i in. 2023

* kwas rozmarynowy dodatkowo wspiera leczenie trądziku i AZS, przyspiesza gojenie ran

Wykorzystanie roślin w przemyśle kosmetycznym

Substancje aktywne zawarte w surowcu *E. vulgare* i *E. russicum* znajdują zastosowanie w pielęgnacji skóry twarzy i ciała [Dąbrowska i in. 2016, Dresler i in. 2017]. Zawartość alantoiny w składzie żmijowca zwyczajnego i czerwonego decyduje o możliwości jego wykorzystania w celu zwiększenia elastyczności skóry, przyspieszenia procesu gojenia się ran i oczyszczenia naskórka [Serafin i in. 2023]. Składnik ten jest często stosowany w kosmetykach łagodzących, regenerujących oraz w preparatach dla niemowląt [Arct i Depta 2016]. Obecny w oleju ze żmijowca kwas γ -linolenowy wzmacnia barierę lipidową skóry oraz odgrywa rolę naprawczą. Może być on stosowany jako suplementacja diety. Podany doustnie zapobiega nadmiernej utracie wody, a także chroni organizm przed wnikaniem drobnoustrojów, alergenów i toksyn [Materac i in. 2013]. *Echium vulgare* stanowi cenny składnik kosmetyków przeciwstarzeniowych. Produkty spowalniające starzenie się skóry są aktualnie najchętniej wybierane przez konsumentów [Assawavichairoj i Taghian 2017], co jest spowodowane chęcią zatrzymania młodzieńczego wyglądu przez ludzi, którzy sięgają po coraz to nowsze propozycje kosmetyków anti-aging [Chermahini i in. 2011]. Stosowany w kosmetyce kwas rozmarynowy to składnik bioaktywny obecny w *E. vulgare*. Przyspiesza on gojenie ran i wspomaga leczenie trądziku [Dresler i in. 2017]. Ponadto kwas rozmarynowy wykazuje działanie korzystne w terapii atopowego zapalenia skóry (AZS). Skuteczność zastosowania tego składnika w AZS wykazano w badaniach Lee i in. [2008], w których kwas rozmarynowy wpływał na łagodniejszy przebieg dermatozy. W kosmetologii znane są także kwasy ferulowy oraz kawowy. Oba składniki obecne są w *E. vulgare* [Jin i in. 2020]. Kwas ferulowy działa przeciwzapalnie, przeciwutleniająco, przeciwdrobnoustrojowo, przeciwnowotworowo. Zastosowanie kwasu ferulowego podczas ekspozycji słonecznej może przeciwdziałać fotostarzeniu, ponieważ związek ten wykazuje możliwość absorpcji promieniowania ultrafioletowego UVA [Zduńska-Pęciak i in. 2022]. Kwas kawowy to także związek pełniący funkcję przeciwutleniacza, który neutralizuje działanie wolnych rodników [Zduńska-Pęciak i in. 2022, Ahn 2017]. Wykazuje także właściwości przeciwwirusowe, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe. Zmniejsza negatywne skutki pojawiające się w organizmie po działaniu promieniowania UVB [Ahn 2017]. Rośliny *Echium* cechuje

także obecność rutyny, która wspiera opóźnianie procesów starzenia i działa antyoksydacyjnie. Stosowana miejscowo może ponadto usprawniać przebieg terapii AZS [Ganeshpurkar i Saluja 2017]. Olejek eteryczny izolowany z *E. vulgare* zawiera istotne dla przemysłu kosmetycznego składniki bioaktywne, głównie linalol [Erenler 2022]. Linalol jest składnikiem zapachowym kosmetyków. Oprócz nadawania przyjemnej woni wykazuje aktywność przeciwdrobnoustrojową, przeciwzapalną, przeciwutleniającą [Mączka i in. 2022]. U roślin z rodziny Boraginaceae, w tym w *E. vulgare* i *E. russicum*, występuje też naturalny czerwony pigment, jakim jest szikonina. Barwnik ten stosowany był już od stuleci m.in. w tradycyjnej medycynie chińskiej. Szikonina może być wykorzystywana zarówno jako środek koloryzujący w kosmetykach, np. w pomadkach i szminkach, jak i jako składnik bioaktywny, wywierający na organizm wpływ przeciwdrobnoustrojowy, przeciwzapalny i przeciwutleniający [Malik i in. 2023].

Wykorzystanie roślin w przemyśle farmakologicznym

Echium vulgare oraz *E. russicum* od lat stosowane były w medycynie ludowej [Malik i in. 2023]. W Turcji i Niemczech używano *E. vulgare* do gojenia ran czy siniaków. W tym celu stosowano punktowo maść otrzymywaną poprzez połączenie masła z ugotowanym korzeniem *E. vulgare*. Części nadziemne *E. vulgare* można stosować jako środek moczopędny. Zarówno *E. vulgare*, jak i *E. russicum* znane są jako remedium na ukąszenia żmij [Jin i in. 2020]. Kwas rozmarynowy popularny jest nie tylko dzięki działaniu kosmetycznemu, ale także farmaceutycznemu. Jest on obecny w *Echium*, cechuje się silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi, stabilizując błony biologiczne i chroniąc przed uszkodzeniami spowodowanymi promieniowaniem UV oraz wolnymi rodnikami, co może mieć znaczenie w profilaktyce nowotworowej. Dodatkowo wykazuje działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne i przeciwwirusowe, co sugeruje możliwość zastosowania żmijowca w terapii infekcji wirusowych, takich jak wirus opryszczki typu 1 [Nowak i in. 2013].

Wnioski

1. Przemysł kosmetyczny i farmaceutyczny w znacznym stopniu wykorzystuje roślinne surowce do pozyskiwania substancji aktywnych, w tym pochodzące z gatunków należących do rodziny Boraginaceae.
2. *Echium vulgare* i *E. russicum* stanowią cenny surowiec kosmetyczny. Właściwości nawilżające, antyoksydacyjne składników bioaktywnych pozyskiwanych z gatunku *Echium* umożliwiają zastosowanie ich w kosmetyce i preparatach kosmetycznych w celu poprawy parametrów skóry.
3. Substancje aktywne zawarte w *E. vulgare* i *E. russicum* wpływają korzystnie na zdrowie człowieka. Działanie przeciwwirusowe, uspokajające oraz regenerujące skórę umożliwia zastosowanie w farmakologii pochodzących ze żmijowca substancji o aktywności biologicznej i osiągnięcie korzystnego efektu dla zdrowia.

Bibliografia

- Ahn K.J. 2017. Photoprotective effects of caffeic acid against ultraviolet-induced damages on human follicle dermal papilla cells. *Asian J. Beauty Cosmetol.* 15(1), 105–111. <http://dx.doi.org/10.20402/ajbc.2016.0122>
- Albertson A.O., 1921. Nantucket wild flowers. G.P. Punam's Sons, New York, 442.
- Arct J., Depta P., 2016. Alantoina – działanie i wykorzystanie kosmetyczne. *Pol. J. Cosmetol.* 19(1), 12–17.
- Assawavichairoj S., Taghian M., 2017. Cross-cultural comparison of consumer pre-purchase decision-making: anti-aging products. *Asia Pac. J. Market. Lo.* 29(1), 27–46. <https://doi.org/10.1108/APJML-01-2016-0002>
- Chermahini S.H., Majid F.A., Sarmidi M.R., 2011. Cosmeceutical value of herbal extracts as natural ingredients and novel technologies in anti-aging. *J. Med. Plants Res.* 5(14), 3074–3077.
- Chmielewski P., 2007. Nowe stanowisko żmijowca czerwonego *Echium russicum* J.F. Gmel. na Wyżynie Zachodniowłońskiej. *Chrońmy Przyr. Ojcz.* 63(1), 16–19.

- Chwil M., Weryszko-Chmielewska E., 2007. Nectary structure and nectar secretion of *Echium russicum* J.F. Gmel. flowers. *Acta Agrobot.* 60(1), 25–33.
- Crompton C.W., Wojtas W.A., 1993. Pollen grains of Canadian honey plants. *Agricult. Agri-Food Canada*, Ottawa, ON, 228.
- Czarnecka B., Kucharczyk M., 2001. *Echium russicum* J.F. Gmel. Żmijowiec czerwony. W: R. Kaźmierczakowa, K. Zarzycki (red.). *Polska czerwona księga roślin*. Instytut Botaniki im. W. Szafera PAN, Instytut Ochrony Przyrody PAN, Kraków.
- Dąbrowska A., Chernetsky M., Sawicki R., Szymczak G., 2016. Rośliny o właściwościach kosmetycznych we florze Polski. W: A. Kiełtyka-Dadasiewicz (red.), *Rośliny w nowoczesnej kosmetologii*. Wyd. Akad. WSSP, Lublin, 9–24.
- Dąbrowska D., Zawadzka P., Zavyalova O., 2017. Rola substancji łagodzących w preparatach przeznaczonych do pielęgnacji skóry w trakcie oraz po zakończeniu radioterapii. W: J. Nyćkowiak, J. Leśny (red.), *Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce. Choroby*. MN, Poznań, 73-78.
- Dresler S., Kubrak T., Bogucka-Kocka A., Szymczak G., 2015. Determination of shikonic and rosmarinic acid in *Echium vulgare* L. and *Echium russicum* J.F. Gmel. by capillary electrophoresis. *J. Liq. Chromatogr. Relat. Technol.* 38(6), 698–701. <https://doi.org/10.1080/10826076.2014.951767>
- Dresler S., Szymczak G., Wójcik M., 2017. Comparison of some secondary metabolite content in the seventeen species of the Boraginaceae family. *Pharm. Biol.* 55(1), 691–695. <http://doi.org/10.1080/13880209.2016.1265986>
- Erenler R., 2022. Chemical constituents of the essential oil of *Echium vulgare*. *International Aegean Conferences on Natural and Medical Sciences-V*, February 25–26.
- Gałkowska D., Pycia K., Kapuśniak K., Juszcak L., 2023. Zanieczyszczenia żywności – charakterystyka i regulacje prawne. Część I – toksyny roślinne. *Żywn. Nauka. Technol. Jakość* 4(137), 245–263. <https://doi.org/10.15193/zntj/2024/139/495>
- Ganeshpurkar, A., Saluja, A.K., 2017. The pharmacological potential of rutin. *Saudi Pharm. J.* 25(2), 149–164. <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2016.04.025>

- Guil-Guerrero J. L., García-Maroto F., Vilches-Ferrón M. A., López-Alonso D., 2003. Gamma-linolenic acid from fourteen Boraginaceae species. *Ind. Crops. Prod.* 18, 85–89. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(03\)00036-0](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00036-0)
- Jin J., Boersch M., Nagarajan A., Davey A.K., Zunk M., 2020. Antioxidant properties and reported ethnomedicinal use of the genus *Echium* (Boraginaceae). *Antioxidants* 9(722), 1–19. <https://doi.org/10.3390/antiox9080722>
- Klemow K.M., Clements D.R., Threadgill P.F., Cavers P.B., 2001. The biology of Canadian weeds. 116. *Echium vulgare* L. *Can. J. Plant Sci.* 82, 235–248. <https://doi.org/10.4141/P01-058>
- Król B., 2004. Rozwój żmijowca zwyczajnego (*Echium vulgare* L.) w zależności od warunków glebowych. *Annales UMCS, Sec. E.* 59(4), 1739–1745.
- Lee J., Jung E., Koh J., Kim Y.S., Park D., 2008. Effect of rosmarinic acid on atopic dermatitis. *J. Dermatol.* 35(5), 768–771. <https://doi.org/10.1111/j.1346-8138.2008.00565.x>
- Luebert F., Cecchi L., Frohlich M.W., Gottschling M., Guillems M., Hasenstab-Lehman K.E., Hilger H.H., Miller J.S., Mittelbach M., Nazaire M., Nepi M., Nocentini D., Ober D., Olmstead R.G., Selvi F., Simpson M.G., Sutorý K., Valdés B., Walden G.K., Weigand M., 2016. Familial classification of the Boraginales. *Taxon* 65(3), 502–522. <https://doi.org/10.12705/653.5>
- Malik S., Brudzyńska P., Khan M.R., Sytar O., Makhzoum A., Sionkowska A., 2023. Natural plant-derived compounds in food and cosmetics: a paradigm of shikonin and its derivatives. *Materials* 16(12), 4377. <https://doi.org/10.3390/ma16124377>
- Materac E., Malczyński Z., Bodek K.H., 2013. Rola kwasów tłuszczowych omega-3 i omega-6 w organizmie człowieka. *Bromat. Chem. Toksykol.* 46(2), 225–233.
- Mączka W., Duda-Madej A., Grabarczyk M., Wińska K., 2022. Natural compounds in the battle against microorganisms – linalool. *Molecules* 27(20), 6928. <https://doi.org/10.3390/molecules27206928>
- Napp-Zinn K., 1974. Anatomie des Blattes. II. Plattanatomie der Angiospermen. Gebrüder Bornträger, Berlin, 1424. <https://doi.org/10.4141/P01-058>

Nićiforović N., Mihailović V., Mašković P., Solujić S., Stojković A., Muratspahić D. P., 2010. Antioxidant activity of selected plant species; potential new sources of natural antioxidants. *Food Chem. Toxicol.* 48(11), 3125–3130.

<https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.08.007>

Nowak K., Jaworska M., Ogonowski J., 2013. Rozmaryn – roślina bogata w związki biologicznie czynne. *Chemik* 67(2), 11–13.

Patra J.K., Das G., Lee S., Kang S.S., Shin H.S., 2018. Selected commercial plants. a review of extraction and isolation of bioactive compounds and their pharmacological market value. *Trends Food Sci. Technol.* 82, 89–109.

<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.10.001>

Sarwa A., 2013. *Echium* - Żmijowiec. W: Sarwa A. (red.). *Wielka encyklopedia roślin leczniczych*. Armoryka, Sandomierz, 173.

Serafin J., Tomala O., Kucharski Ł., Klimowicz A., 2023. Ocena właściwości antyoksydacyjnych ekstraktów alkoholowych żmijowca zwyczajnego. W: E.K. Wróblewska, Ł. Struk. (red.), VIII Szczecińskie Sympozjum Młodych Chemików. Wyd. Uczel. ZUTS, Szczecin, 52–53.

Siuta J., Sienkiewicz J., 2014. Chemizm roślin i zrekultywowanego gruntu na składowisku odpadów posodowych w Janikowie. *Inżyn. Ekol.* 38, 70–90.

<https://doi.org/10.12912/2081139X.35>

Surette M.E., Edens M., Chilton F.H., Tramposch K.M., 2004. Dietary *Echium* oil increases plasma and neutrophil long-chain (n-3) fatty acids and lowers serum triacylglycerols in hypertriglyceridemic humans. *J. Nutr.* 134, 1406–1411.

<https://doi.org/10.1093/jn/134.6.1406>

Tichonow A.I., Bondarenko L.A., Jarnych T.G., Szpyszczak O.S., Kowal W.M., Srypnik-Tichonow R.I., 2017. Biologiczne pochodzenie miodu naturalnego (pszczęlego). W: A.I. Tichonow (red.), *Miód naturalny w medycynie i farmacji. Pochodzenie, właściwości, zastosowanie, preparaty lecznicze*. Sąd. Bart., Stróże, 30–75.

Vladimirov V., Bancheva S., Ivanova D., 2023. Contribution to the knowledge of *Pontechium maculatum* (Boraginaceae), a species of high conservation concern in

the Bulgarian flora. C. R. Acad. Bulg. Sci. 76, 203–210.

<https://doi.org/10.7546/CRABS.2023.02.04>

Zduńska-Pęciak K., Dębowska R., Kołodziejczyk A., Rotsztejn H. 2022., Ferulic acid. a novel topical agent in reducing signs of photoaging. Dermatol. Ther. 35, e15543.

<https://doi.org/10.1111/dth.15543>

Abstract

Contemporary consumer trends mean that the cosmetic and pharmaceutical industries are looking for new plant raw materials to obtain active biocomponents. *Echium vulgare* and *E. russicum* are plants rich in valuable substances, e.g. fatty acids, phenolic compounds, essential oils. Their use in cosmetic and pharmaceutical products may have a beneficial health effect and encourage consumers to buy them.

The aim of the work was to analyze the properties and possible applications of *E. vulgare* and *E. russicum* in cosmetology and pharmacology. *Echium* plants contain a number of valuable active ingredients (including rosmarinic acid, shikonin, allantoin), the use of which in the cosmetic and pharmaceutical industry brings positive effects on beauty and health.

Keywords: cosmetics, antioxidants, rosmarinic acid, γ -linolenic acid, shikoin

Psoralea corylifolia L. źródłem bakuchiolu, roślinnego retinolu

Psoralea corylifolia L. as a source of bakuchiol, a plant retinol

Renata Matraszek-Gawron  <https://orcid.org/0000-0003-0581-0750>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

Mirosława Chwil  <https://orcid.org/0000-0001-5912-5324>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin
e-mail: mirosława.chwil@up.lublin.pl

Streszczenie

Wzrost świadomości konsumentów preferujących naturalne kosmetyki, działające efektywnie i bezpieczne dla organizmu, skłania producentów do poszukiwania innowacyjnych rozwiązań i wprowadzania na rynek produktów nowej generacji. Obecnie coraz bardziej popularny staje się bakuchiol ekstrahowany z *Psoralea corylifolia* jako wegańska alternatywa dla retinolu. Porównano właściwości bakuchiolu i retinolu, związków o odmiennej strukturze chemicznej, ale o podobnych właściwościach i zbliżonej aktywności, z uwzględnieniem przeciwwskazań i bezpieczeństwa stosowania. Bakuchiol i retinol działają na skórę przeciwtrądzikowo, przeciwzmarszczkowo, seoregulująco i rozjaśniająco. Bakuchiol może stanowić obiecującą alternatywę w pielęgnacji skóry wrażliwej u osób uczulonych na retinoidy. Działa przeciwutleniająco silniej niż retinol, indukuje geny zapobiegające starzeniu oraz kluczowe w utrzymaniu nawilżania i homeostazy

bariery skóry. W odróżnieniu od retinolu bakuchiol jest fotostabilny i może być stosowany w okresie ciąży i karmienia piersią. Zwiększa stabilność i biodostępność retinoidów. Zaleca się łączenie bakuchioli i retinolu w różnych innowacyjnych formułacjach.

Słowa kluczowe: *Cullen corylifolium*, babchi, antyoksydant, działanie przeciwzapalne, działanie przeciwstarzeniowe, kosmetyki naturalne, bioretinol, pielęgnacja skóry, fitozwiązki, fitoterapia

Wstęp

Głównym źródłem bakuchioli jest *Psoralea corylifolia* L. syn. *Cullen corylifolium* (L.) Medik. Powszechnie gatunek ten, znany jako babchi lub bakuchi, należy do rodziny Fabaceae [Jaferník i in. 2021, Mahajan i in. 2022, Jha i in. 2023]. Etymologia nazwy rodzajowej wywodzi się z języka greckiego: „psoraleos”, co znaczy „dotknięty świądem lub trądem” [Belge i Jeurkar 2023]. *Psoralea corylifolia* jest jednoroczną, dorastającą do 180 cm wysokości, rośliną leczniczą. Wykształca szerokie i eliptyczne, pokryte włoskami liście oraz niebiesko-purpurowe kwiaty skupione w grona i spłaszczone jednonasienne czarne strąki [Jaferník i in. 2021]. Pochodzi ze wschodniej Azji. W naturalnym środowisku występuje od Iranu przez subtropikalne równiny Pakistanu, Indii, Sri Lankę po Chiny i Bliski Wschód. Uprawiana jest na nasłonecznionych równinach w tropikalnych i subtropikalnych obszarach Ameryki Północnej, Australii i Południowej Afryki [Alam i in. 2018].

Psoralea corylifolia opisano w indyjskim kodeksie farmaceutycznym oraz farmakopeach chińskiej, brytyjskiej i amerykańskiej. Gatunek ten był wykorzystywany w starożytności w tradycyjnej medycynie naturalnej: indyjskiej ajurwedzie i siddha, persko-arabskiej unani oraz tradycyjnej medycynie chińskiej w łagodzeniu różnych chorób skórnych, jak: trąć, egzema, łuszczyca, leukoderma [Alam i in. 2018, Masihuzzaman i in. 2022, Jha i in. 2023]. Surowcem zielarskim są ciemnobrązowe bezbielmowe nasiona (*Psoraleae semen*). Z nasion pozyskuje się olejek eteryczny zawierający fotouczulającą furanokumarynę – psoralen [Alam i in. 2018].

Biologicznie aktywne związki chemiczne *P. corylifolia* są wykorzystywane w praktyce klinicznej w leczeniu dermatoz [Gidwani i in. 2010, Mishra i in. 2024]. Działają przeciwwirusowo [Jung i in. 2024], przeciwbakteryjnie [Yin i in. 2004], przeciwzapalnie [Chung i in. 2024], przeciwnowotworowo [Attri i in. 2023], neuroprotekcynie [Kim i in. 2016] i przeciwutleniająco [Cariola i in. 2023]. Ostatnio wykazano, że aktywne związki *P. corylifolia* – kumaryny i flawonoidy – mogą indukować hepatotoksyczność i zaburzenia reprodukcyjne oraz zwiększać ryzyko nefro- i fototoksyczności [Jha i in. 2023, Zhao i in. 2023]. Zwiększająca się świadomość konsumentów wybierających bezpieczne kosmetyki naturalne o wysokiej skuteczności działania oraz nasilająca popularność trendu wegańskiego skłaniają producentów do wprowadzania na rynek produktów pochodzenia roślinnego z bogatym udziałem fitozwiązków nowej generacji [Ratajczak i in. 2023, Varma i Ray 2023].

Celem pracy było określenie właściwości bakuchiolu ekstrahowanego z nasion i liści *P. corylifolia* jako wegańskiej alternatywy dla retinolu powszechnie stosowanego w formułacjach kosmetycznych.

Bakuchiol – charakterystyka i właściwości fizykochemiczne

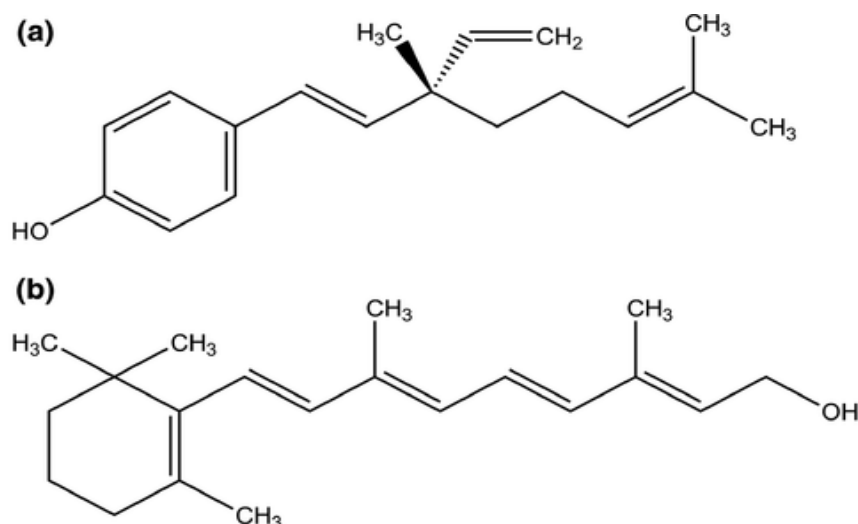
Bakuchiol występuje w różnych organach – korzeniach, nasionach, liściach i owocach, wielu gatunków roślin z różnych rodzin: Fabaceae (*Otholobium pubescens* (Poir.) J.W. Grimes, *Psoralea drupacea* Bge., *P. glandulosa* L., *Psoralidium tenuiflorum* (Pursh) Rydb.), Piperaceae (*Piper longum* L.), Thymelaeaceae (*Pimelea drupacea* Labill.) i Amaranthaceae (*Aerva sanguinolenta* (L.) Blume), Ulmaceae (*Ulmus davidiana* var. *japonica* N.). Jednak stężenie bakuchiolu jest znacznie wyższe w *Psoralea corylifolia* L. Z tego względu naturalnym źródłem pozyskiwania bakuchiolu na drodze ekstrakcji CO₂ w stanie nadkrytycznym są: liście (*Psoraleae folium*), owoce (*Psoraleae fructus*) i nasiona (*Psoraleae semen*) *P. corylifolia*. W surowcach tych zawartość bakuchiolu waha się w granicach 1–7% s.m. [Grzelecki i in. 2021, Wysocka 2022].

Pierwszą biochemiczną syntezę bakuchiolu przeprowadzono w 1973 roku, a z surowca pochodzącego z naturalnego źródła wyekstrahowano go w 1996 roku. Od czasu wdrożenia na rynek kosmetyczny w 2007 roku (preparat Synetol A

stosowany miejscowo na skórę) bakuchiol wciąż zyskuje na popularności [Gunt i in. 2021]. Z *P. corylifolia* pozyskiwane są składniki kosmetyczne, takie jak ekstrakty z nasion babchi i ziela [Shrestha i in. 2018].

Bakuchiol, roślinny retinol (4-[(1E,3S)-3-etenyl-3,7-dimetylookta-1,6-dienyl]fenol) – meroterpenowy fenol, jest żółtobrunatną cieczą o masie molowej 256,4 g/mol.

Pochodna witaminy A, retinoid retinol (2E,4E,6E,8E)-3,7-dimetylo-9-(2,6,6-trimetylo-cykloheksen-1-yl)nona-2,4,6,8-tetraen-1-ol, jest żółtopomarańczową krystaliczną substancją o masie 286,5 g/mol. Bakuchiol i retinol są lipofilne, rozpuszczają się w tłuszczach, olejach i etanolu. Mają podobne właściwości i zbliżone działanie, ale zupełnie różną budowę chemiczną (ryc. 1) [Grzelecki i in. 2021].



Ryc. 1. Struktura chemiczna bakuchiolu (a) i retinolu (b)

Właściwości prozdrowotne bakuchiolu

Działanie przeciwstarzeniowe

Bakuchiol jest analogiem retinolu pod względem aktywacji receptora dla kwasu retinowego (ang. retinoic acid receptors, RAR). Jednak ze względu na inną budowę nie generuje powstawania metabolitów typowych dla retinoidów i słabiej niż retinol indukuje te receptory. Bakuchiol efektywniej indukuje geny kodujące

wyspecjalizowane cytoplazmatyczne białka CRBP (ang. cellular retinoid binding proteins) transportujące retinoidy do jądra komórkowego, znacznie zwiększając biodostępność i stabilność retinolu. Może to przynieść wymierny efekt w preparatach łączonych stymulujących fibroblasty do produkcji kolagenu i elastyny [Grzelecki i in. 2021, Mascarenhas-Melo i in. 2024]. Bakuchiol stymuluje produkcję kolagenu I, II i IV odpowiednio o 147, 150 i 119%, a retinol o 119, 148 i 100%, a 9-krotnie efektywniej od retinolu hamuje elastazę oraz z 50-procentową skutecznością ogranicza aktywność kolagenazy, na którą retinol ma znikomy wpływ [Chaudhuri i Bojanowski 2014, Chaudhuri 2015].

Bakuchiol i retinol na podobnym poziomie stymulują w naskórku ekspresję akwaporyny 3(AQP3) regulującej transport woda/glicerol, kluczowej w utrzymaniu prawidłowego poziomu nawilżenia i zachowaniu elastyczności oraz odtworzeniu bariery skórnej. Ponadto bakuchiol jest dwukrotnie silniejszym niż retinol induktorem E-kadheryny (CDH1) warunkującej prawidłową budowę połączeń ścisłych oraz tworzenie bariery wodnej [Grzelecki i in. 2021, Mascarenhas-Melo i in. 2024].

Kremy do twarzy z bakuchiolem (0,5%) i z retinolem (0,5%) w porównywalnym stopniu zredukowały objawy fotostarzenia, w tym powierzchnię zmarszczek i przebarwienia, przy czym bakuchiol nie powodował podrażnień: suchości, szorstkości, pieczenia i łuszczenia skóry. W odróżnieniu od retinolu bakuchiol jest fotostabilny. Ponadto może być stosowany przez kobiety ciężarne i karmiące piersią, osoby uczulone na retinoidy oraz w codziennej pielęgnacji skóry dojrzałej, wiotkiej, wrażliwej i naczyniowej, a także problematycznej ze skłonnościami do występowania trądziku, wyprysków, zaskórników i stanów zapalnych [Dhaliwal i in. 2019]. Bakuchiol normalizuje wydzielanie sebum, zmniejszając aktywność 5-alfa reduktazy, a przy tym działa przeciwbakteryjnie, wykazując aktywność przeciwko *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* i *Propionibacterium acnes* oraz przeciw drożdżakom (*Candida guilliermondii*) i dermatofitom (*Trichophyton mentagrophytes*) [Mascarenhas-Melo i in. 2024].

Badania prowadzone przy współpracy z dermatologami udowodniły długotrwałe przeciwstarzeniowe działanie oraz bezpieczeństwo stosowania produktów kosmetycznych z bakuchiolem. Serum z bakuchiolem stosowane na różne typy skóry

poprawia teksturę skóry, redukuje fotouszkodzenia, zaczerwienienia, przebarwienia i zmarszczki oraz zwiększa jędrność skóry. Ponadto niekomedogenność bakuchiolu umożliwia użycie jako składnika kosmetycznego w wielu recepturach zalecanych do skóry tłustej [Goldberg i in. 2019, Goldberg i in. 2020].

Bakuchiol, melatonina i kwas askorbinowy zastosowane na skórę podrażnioną działaniem promieni UVA i UVB zwiększyły ekspresję białka filagryny i polisachrydu laminaryny. Filagryna warunkuje barierową funkcję naskórka poprzez spajanie włókien keratyny w procesach dojrzewania keratynocytów, a laminaryna stanowi główny składnik błon komórkowych [Grzelecki i in. 2021, Priyanto i in. 2023, Mascarenhas-Melo i in. 2024].

Aktywność przeciwutleniająca

Bakuchiol wykazuje znacznie silniejszą niż retinol aktywność przeciwutleniającą. Wynika to z obecności w cząsteczce bakuchiolu podwójnego wiązania przy pierścieniu fenolu [Grzelecki i in. 2021, Mascarenhas-Melo i in. 2024]. Aktywność przeciwutleniającą bakuchiolu promują obecne w strukturze chemicznej łańcuchy terpenoidów. Właściwość ta jest konsekwencją ochronnej aktywności bakuchiolu wobec enzymów mitochondrialnego łańcucha oddechowego i hamującej wobec agonistów zależnych od dinukleotydu nikotynoamidoadeninowego (NADPH). Bakuchiol aktywuje jądrowy czynnik transkrypcyjny pochodzenia erytroidalnego typu 2 – Nrf2, zaangażowany w odpowiedź komórki na stres oksydacyjny poprzez ekspresję genów kodujących enzymy antyoksydacyjne [Putriana i in. 2024]. W kontrolowaniu działania antyoksydacyjnego poprzez wychwytywanie rodników uczestniczy część terpenoidowa bakuchiolu [Adhikari i in. 2003]. Bakuchiol wyizolowany z *P. corylifolia* stanowi nowy środek do pielęgnacji skóry działający antyoksydacyjnie, fotoprotekcyjnie i antytyrozynazowo, w efekcie jest skuteczny w terapii fotostarzenia skóry. Bakuchiol jako silny inhibitor tyrozynazy o wysokiej aktywności antyoksydacyjnej może stanowić naturalny konserwant wielu produktów [Cariola i in. 2023]. Silne właściwości antyoksydacyjne i hamujące tyrozynazę wskazują, że bakuchiol może być stabilnym składnikiem wielu formułacji kosmetycznych o działaniu wybielającym [Qin i in. 2023].

Działanie rozjaśniające

Bakuchiol rozjaśnia przebarwienia skóry i zapobiega powstawaniu nowych.

Mechanizm ten nie został w pełni poznany, ale udowodniono, że etanolowy wyciąg z owoców *Piper longum*, zawierający bakuchiol, redukował wielkość melanocytów (*in vitro*) i hamował produkcję melaniny indukowaną przez α -melanotropinę (α -MSH) w komórkach czerniaka myszy B16 [Chudzińska 2022]. Krem UP256 z bakuchiolem znacznie efektywniej redukuje poziom melaniny w ludzkich melanocytach naskórka niż fenylotiomocznik, wyraźnie hamując aktywację białka wiążącego guanozyno-5'-trifosforan (GTP) uczestniczącego w tworzeniu wypustek melanocytów (*in vitro*). Efekt ten potwierdzono u ryb w embrionalnym modelu danio pręgowanego (*in vivo*) oraz w trójwymiarowym modelu ludzkiej skóry (*ex vivo*) [Kang i in. 2020]. Bakuchiol znacząco redukuje przebarwienia u osób z hipermelanozową pozapalną hiperpigmentacją wywołaną trądzikiem, występującą także po ustąpieniu objawów innych chorób skóry: egzem, łuszczycy i oparzeń [Lyons i in. 2020].

Działanie przeciwzapalne

Bakuchiol i retinol wykazują działanie przeciwzapalne, wynikające z hamowania ekspresji cyklo- i lipooksygenaz, enzymów cyklu przemian kwasu arachidonowego powodującego stany zapalne, które są konsekwencją uwalniania eikozadienów. Ponadto bakuchiol hamuje fosfolipazę A2. Bakuchiol i retinol jako inhibitory jądrowego czynnika transkrypcyjnego NF kappa B (NF- κ B) zmniejszają produkcję tlenu azotu wywołującego stan zapalny skóry i przyspieszającego starzenie [Grzelecki i in. 2021, Mascarenhas-Melo i in. 2024].

Perspektywa dalszych badań

Obiecującym trendem przyszłych badań jest opracowanie innowacyjnych formułacji do stosowania miejscowego o działaniu m.in. przeciwutleniającym i przeciwzapalnym oraz przeciwstarzeniowym. Ponadto istnieje potrzeba przeprowadzenia na szerszą skalę badań klinicznych obejmujących aktywny kompleks oparty na bakuchiolu oraz peptydach sygnałowych stymulujących włókna kolagenowe. Uzasadnione są dalsze

badania potwierdzające skuteczność i bezpieczeństwo stosowania bakuchiolu w różnych problemach dermatologicznych. Celowe jest również lepsze zrozumienie i maksymalizacja zastosowań bakuchiolu w pielęgnacji i terapii oraz różnych preparatach kosmetycznych.

Wnioski

1. Naturalny bakuchiol i retinol mają podobne właściwości i zbliżone działanie przeciwzapalne oraz rozjaśniające, a przy tym bakuchiol ma silniejsze działanie utleniające niż retinol.
2. Bakuchiol, funkcjonalny analog retinolu, jest alternatywą dla osób uczulonych na retinoidy, może stanowić składnik kosmetyczny w pielęgnacji skóry – dojrzałej, wrażliwej, naczyniowej i z takimi problemami, jak: trądzik, wypryski, zaskórniki, stany zapalne.
3. Bakuchiol działa przeciwutleniająco i znacznie silniej niż retinol indukuje geny zapobiegające starzeniu, kluczowe w utrzymaniu nawilżania i homeostazy bariery skóry.
4. Bakuchiol w odróżnieniu od retinolu jest fotostabilny i może być stosowany w okresie ciąży i karmienia piersią. Zwiększa stabilność i biodostępność retinoidów, zaś w połączeniu z retinolem stymuluje fibroblasty do produkcji kolagenu i elastyny. Obecnie wdrażane są preparaty zawierające bakuchiol do pielęgnacji skóry twarzy.

Bibliografia

Adhikari S., Joshi R., Patro B.S., Ghanty T.K., Chintalwar G.J., Sharma A., Chattopadhyay S., Mukherjee T., 2003. Antioxidant activity of bakuchiol: experimental evidences and theoretical treatments on the possible involvement of the terpenoid chain. Chem. Res. Toxicol. 16(9), 1062–1069.

Alam F., Khan G.N., Asad M.H.H.B., 2018. *Psoralea corylifolia* L. Ethnobotanical, biological, and chemical aspects. A review. *Phytother. Res.* 32(4), 597–615.
<https://doi.org/10.1002/ptr.6006>

Attri S., Singh A., Rashid F., Singh S., Mohana P., Alshehri S., Almalki A.H., Pavlik A., Haque S., Kumar A., Arora S., 2023. Targeting JAK/STAT signaling pathway and anti-inflammatory markers using bakuchiol isolated from *Psoralea corylifolia* for cytotoxicity of human squamous cell carcinoma (A431) cells. *J. King Saud Univ.-Sci.* 35(6), 102716. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102716>

Belge D.A., Jeurkar M.M. (2023). Morphological, pharmacological and toxicological profile of *Psoralea corylifolia* L. A review. *Int. J. Res. Anal. Rev.*, 10(2), 146–153.

Cariola A., El Chami M., Granatieri J., Valgimigli L., 2023. Anti-tyrosinase and antioxidant activity of meroterpene bakuchiol from *Psoralea corylifolia* (L.). *Food Chem.* 405, 134953.

Chaudhuri R.K., Bojanowski K., 2014. Bakuchiol: a retinol-like functional compound revealed by gene expression profiling and clinically proven to have anti-aging effects. *Int. J. Cosmet. Sci.* 36(3), 221–230. <https://doi.org/10.1111/ics.12117>

Chaudhuri R.K., 2015. Bakuchiol. A retinol-like functional compound, modulating multiple retinol and non-retinol targets. W: Siwamani R.K., Jagdeo J, Elsner P., Maibach H.I. (red.). *Cosmeceuticals and Active Cosmetics*. Wyd. 3. CRC Press, Taylor and Francis Group, 1–8.

Chudzińska J., 2022 Does bakuchiol deserve to be called plant-based retinol? Advantages and disadvantages of bakuchiol and retinol. W: *The book of articles*. National Scientific Conferences Promovendi Foundation. Promovendi Foundation Publishing, Łódź, 6–12.

Chung Y.C., Song S.J., Lee A., Jang C.H., Kim C.S., Hwang Y.H., 2024. Isobavachin, a main bioavailable compound in *Psoralea corylifolia*, alleviates lipopolysaccharide-induced inflammatory responses in macrophages and zebrafish by suppressing the MAPK and NF-κB signaling pathways. *J. Ethnopharmacol.* 321, 117501.

Dhaliwal S., Rybak I., Ellis S.R., Notay M., Trivedi M., Burney W., Vaughn A.R., Nguyen M., Reiter P., Bosanac S., Yan H., Foolad N., Sivamani R.K., 2019. Prospective, randomized, double-blind assessment of topical bakuchiol and retinol for facial photoageing. Br. J. Dermatol. 180(2), 289–296. <https://doi.org/10.1111/bjd.16918>

Gidwani B., Alaspure R.N., Duragkar N.J., Singh V., Rao S.P., Shukla S.S., 2010. Evaluation of a novel herbal formulation in the treatment of eczema with *Psoralea corylifolia*. Iran. J. Dermatol. 13(4), 122–127.

Goldberg D.J., Mraz-Robinson D., Granger C., 2020. Efficacy and safety of a 3-in-1 anti-aging night facial serum containing melatonin, bakuchiol, and ascorbyl tetraispalmitate through clinical and histological analysis. J. Cosmet. Dermatol. 19(4), 884–890. <https://doi.org/10.1111/jocd.13329>

Goldberg D.J., Robinson D.M., Granger C., 2019. Clinical evidence of the efficacy and safety of a new 3-in-1 anti-aging topical night serum-in-oil containing melatonin, bakuchiol, and ascorbyl tetraispalmitate: 103 females treated from 28 to 84 days. J. Cosmet. Dermatol. 18(3), 806–814. <https://doi.org/10.1111/jocd.12896>

Grzelecki M., Tyburc N., Paradowska K., 2021. Bakuchiol: następca retinolu. Herbalism 7(1), 129–142.

Gunt H., Randhawa M., Bojanowski K., Chaudhuri R.K., 2021. 27702 Crosstalk between HIF-1 α and SIRT-1 is bolstered by the natural ingredient bakuchiol but not retinol. J. Am. Acad. Dermatol. 85(3), AB160. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2021.06.652>

Jaferník K., Halina E., Ercisli S., Szopa A., 2021. Charakterystyka bakuchiolu – związku o wysokiej aktywności biologicznej i głównego źródła jego pozyskiwania – *Cullen corylifolium* (L.) Medik. Nat. Prod. Res. 35(24), 5828–5842.

Jha A., Pokharel B., Patel B.P., Chaudhary R.D., 2023. Traditional and contemporary uses, phytochemistry and pharmacology of *Psoralea corylifolia* Linn. J. Ayurveda Camp. 4(1), 69–78. <https://doi.org/10.51648/jac92>

Jung J., Bae J., Park J.S., Lee S.W., Jeong J.H., Park S.J., 2024. In vitro anti-rotaviral activity of bavachin isolated from *Psoralea corylifolia* L.(Fabaceae). Vet. Sci. 11(5), 188.

Kang M.C., Lee J.W., Lee T.H., Subedi L., Wahedi H.M., Do S.G., Shin E., Moon E.Y., Kim S.Y., 2020. UP256 inhibits hyperpigmentation by tyrosinase expression/dendrite formation via Rho-dependent signaling and by primary cilium formation in melanocytes. Int. J. Mol. Sci. 21(15), 5341. <https://doi.org/10.3390/ijms21155341>

Kim Y.J., Lim H.S., Lee J., Jeong S.J., 2016. Quantitative analysis of *Psoralea corylifolia* Linne and its neuroprotective and anti-neuroinflammatory effects in HT22 hippocampal cells and BV-2 microglia. Molecules 21(8), 1076.

Lyons A.B., Kohli, I, Nahhas A.F., Braunberger, T.L., Mohammad T.F., Nicholson C.L., Nartker N.T., Modi K., Matsui M.S., Lim H.W., Hamzavi I.H., 2020. Trichloroacetic acid model to accurately capture the efficacy of treatments for postinflammatory hyperpigmentation. Arch. Dermatol. Res. 312(10), 725–730. <https://doi.org/10.1007/s00403-020-02071-4>

Mahajan N., Koul B., Gupta P., Shah B.A., Singh J. (2022). *Psoralea corylifolia* L. Panacea to several maladies. S. Afr. J. Bot. 149, 963–993.

Mascarenhas-Melo F., Ribeiro M.M., Kahkesh K.H., Parida S., Pawar K.D., Velsankar K., J.H.K N.K., Damiri F., Costa G., Veiga F., Paiva-Santos A.C., 2024. Comprehensive review of the skin use of bakuchiol: physicochemical properties, sources, bioactivities, nanotechnology delivery systems, regulatory and toxicological concerns. Phytochem. Rev. 23, 1377–1413. <https://doi.org/10.1007/s11101-024-09926-y>

Masihuzzaman A.M., Iftikhar M.Y., Alia B., Farheen K., 2022. Babchi (*Psoralea corylifolia* Linn.). An effective Unani medicine for dermatological disorders. A review. Eur. J. Unani Integr. Med. 6(1), 17–21. <https://doi.org/10.33545/2616454X.2022.v6.i1a.203>

Mishra S., Mishra S., Bansal K., 2024. Management of Psoriasis by *Psoralea corylifolia* laden nanoparticulate gel. Int. J. Pharma Prof. Res. 15(3), 253–277.

- Park E.H., Lee I.H., 2021. The effect of consumer decision type on the consumption value of vegan cosmetics. *J. Korean Soc. Cosmetol.* 27(2), 442–454.
<https://doi.org/10.52660/JKSC.2021.27.2.442>
- Priyanto O.J., Sugiyanto Y.F.R., Salim D.S., 2023. The effect of bakuchiol in the skin aging process. A systematic review. *J. Gen. Proced Dermatol. Venereol. Indones* 7(2), 9.
- Putriana N.A., Husni P., Mita S.R., 2024. Recent advance bakuchiol application as a potential alternative to retinol in skincare and cosmetics. *Preprints.org*, preprint.
<https://doi.org/10.20944/preprints202401.1378.v1>
- Qin T., Liu J., Bi Y., Wang Y., Liu J., Ding G., 2023. Improved extraction efficiency of bakuchiol with antioxidant and whitening bioactivities from the seeds of *Psoralea corylifolia* L. *Sci. Tradition. Chinese Med.* 1(2), 123–128.
- Ratajczak P., Landowska W., Kopciuch D., Paczkowska A., Zaprutko T., Kus K., 2023. The growing market for natural cosmetics in Poland. Consumer preferences and industry trends. *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.* 16, 1877–1892.
<https://doi.org/10.2147/CCID.S411032>
- Shrestha S., Jadav H.R., Bedarkar P., Patgiri B.J., Harisha C.R., Chaudhari S.Y., Prajapati P.K., 2018. Pharmacognostical evaluation of *Psoralea corylifolia* Linn. seed. *J. Ayurveda Integr. Med.* 9(3), 209–212. <https://doi.org/10.1016/j.jaim.2017.05.005>
- Varma A., Ray S., 2023. Revolutionizing the Indian market through eco-friendly sustainable products. The rise of vegan beauty inspired by nature. *Int. J. Res. Market. Manage Sales* 5(2), 18–26.
<https://doi.org/10.33545/26633329.2023.v5.i2a.128>
- Wysocka M., 2022. Bakuchiol – a plant-based retinol. The review article. *Aesth. Cosmetol. Med.* 11(6), 199–201. <https://doi.org/10.52336/acm.2022.031>
- Yin S., Fan C.Q., Wang Y., Dong L., Yue J.M., 2004. Antibacterial prenylflavone derivatives from *Psoralea corylifolia*, and their structure – activity relationship study. *Bioorg. Med. Chem.* 12(16), 4387–4392.

Zhao Y., Cheng C., Gao Y., Wang J., 2023. Integrative review on the chemical components, pharmacology and toxicology of *Psoralea corylifolia* L. (Bu Gu Zhi). Fut. Int. Med. 2(1), 36–47. <https://doi.org/10.14218/FIM.2022.00051>

Abstract

The growing consumer awareness and preference for natural cosmetics characterised by effectiveness and safety for the organism encourages manufacturers to search for innovative solutions and introduce new-generation products to the market. Currently, the popularity of bakuchiol, i.e. a vegan alternative to retinol, extracted from *Psoralea corylifolia* is on the increase. The properties of bakuchiol and retinol, compounds with different chemical structures but similar properties and activity, were compared taking into account the contraindications and safety of their use. Both compounds have anti-acne, anti-wrinkle, sebum-regulating, and brightening effects. Bakuchiol may be a promising alternative in the care of sensitive skin of subjects with an allergy to retinoids. It has a stronger antioxidant effect than retinol, induces anti-aging genes, and plays a key role in the maintenance of hydration and skin barrier homeostasis. Unlike retinol, bakuchiol is photostable and can be used during pregnancy and breastfeeding. It increases the stability and bioavailability of retinoids. The use of a combination of bakuchiol and retinol in various innovative formulations is highly recommended.

Keywords: *Cullen corylifolium*, babchi, antioxidant, anti-inflammatory, anti-aging, natural cosmetics, bioretinol, skin care, phytochemicals, phytotherapy

Surowce roślinne o właściwościach antyoksydacyjnych stosowane w recepturach kosmetycznych

Plant raw materials with antioxidant properties used in cosmetic formulations

Katarzyna Rubinowska  <https://orcid.org/0000-0002-8962-3452>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin
e-mail: katarzyna.rubinowska@up.lublin.pl

Streszczenie

Skóra człowieka jest narażona na ciągły kontakt z czynnikami środowiskowymi, w tym na promieniowanie ultrafioletowe. Jednym z najczęściej obserwowanych efektów działania długotrwałej ekspozycji na promieniowanie UV jest fotostarzenie skóry, uwidaczniające się jako pogłębiające się zmarszczki, przebarwienia oraz utrata jędrności i elastyczności. Za jedną z głównych przyczyn obserwowanych zmian uznaje się zaburzenie homeostazy pomiędzy ilością wolnych rodników tlenowych, a działającymi w obrębie komórki systemami obrony antyoksydacyjnej. W organizmie ludzkim system antyoksydantów jest dobrze wykształcony, jednak w okresie wydłużonej ekspozycji na działanie promieniowania UV celowe jest wspomaganie mechanizmów obronnych skóry preparatami kosmetycznymi, bogatymi w substancje aktywne pochodzenia roślinnego. Celem niniejszej pracy było przedstawienie antyoksydantów roślinnych oraz wskazanie związków o charakterze przeciwutleniającym, które mogą być wykorzystywane w przemyśle kosmetycznym. Przedstawiono również przykłady surowców roślinnych, które są obecnie badane pod względem potencjalnego zastosowania w recepturowaniu preparatów

kosmetycznych o działaniu antyoksydacyjnym. W ostatnich latach szczególne zainteresowanie naukowców budzi testowanie roślin pod względem aktywności przeciwutleniającej, a ekstrakty z roślin bogate w antyoksydanty są powszechnie wykorzystywane w przemyśle. Przytoczone dane literaturowe wskazują na ogromny potencjał aplikacyjny zarówno konkretnych substancji izolowanych z roślin, jak i ekstraktów o właściwościach antyoksydacyjnych. Ich wykorzystanie w recepturowaniu preparatów kosmetycznych wymaga jednak dalszych szczegółowych badań zarówno pod kątem skuteczności działania, jak i bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: antyoksydanty niskocząsteczkowe, antyoksydanty roślinne, antocyjany, karotenoidy, polifenole, tokoferole

Wstęp

Wolne rodniki tlenowe, zaliczane do reaktywnych form tlenu, są produkowane w warunkach fizjologicznych przez całe życie człowieka. W stanie homeostazy organizmu pełnią one między innymi bardzo istotne funkcje sygnalizacyjne, a ich ilość jest regulowana przez sprawnie działający system antyoksydacyjny. Jednak w odpowiedzi na czynniki stresowe, w tym stresy środowiskowe i złożone mechanizmy genetyczne, dochodzi do nadprodukcji wolnych rodników tlenowych i pojawienia się stresu oksydacyjnego. Organizm człowieka ma skuteczną enzymatyczną obronę antyoksydacyjną, ale w porównaniu z organizmami roślinnymi zawiera znacznie mniej niskocząsteczkowych przeciwutleniaczy nieenzymatycznych. Dlatego dla prawidłowego funkcjonowania organizmu w warunkach wzmożonej produkcji wolnych rodników, konieczne jest dostarczanie egzogennych antyoksydantów, zarówno w formie pożywienia, jak i preparatów aplikowanych na powierzchnię skóry [Kasote i in. 2013]. Badania dowodzą, że wolne rodniki wytwarzane w nadmiarze są zaangażowane w patofizjologię ponad 50 chorób. Odgrywają również istotną rolę w procesach starzenia się, co uwidacznia się szczególnie poprzez zmiany w wyglądzie i funkcjach skóry [Buonocore i in. 2012]. Wykazano, że roślinne przeciwutleniacze, takie jak kwas askorbinowy i flawonoidy, są najlepszymi egzogennymi przeciwutleniaczami. Związki te nie tylko bezpośrednio

wychwytyują wolne rodniki, ale również wzmacniają endogenną obronę antyoksydacyjną organizmu [Cho i in. 2010].

Antyoksydanty roślinne

Antyoksydanty (przeciwutleniacze) to cząsteczki, których podstawową funkcją jest obrona organizmu przed szkodliwym działaniem wolnych rodników. Głównym zadaniem tych związków jest hamowanie wolnorodnikowych reakcji cząsteczkowych, neutralizacja wolnych rodników oraz ochrona całej komórki, jak i jej organelli, przed degradacyjnym działaniem wolnych rodników [Zabłocka i Janusz 2008].

Do egzogennych antyoksydantów pochodzenia roślinnego, wykorzystywanych w przemyśle kosmetycznym, zaliczane są przede wszystkim substancje nieenzymatyczne, które dostarczane są wraz z pokarmem lub w trakcie codziennych zabiegów pielęgnacyjnych z wykorzystaniem preparatów kosmetycznych. Do tej grupy substancji zalicza się mikroelementy (selen, miedź, cynk), witaminy (A, C i E) i metabolity wtórne roślin [Skotnicka i in. 2017]. Przeciwutleniacze nieenzymatyczne, zwłaszcza te o charakterze polifenoli, w warstwie rogowej naskórka wykazują działanie przeciwordnikowe, natomiast w głębszych warstwach naskórka wpływają na aktywność enzymów antyoksydacyjnych. W najgłębszych obszarach skóry właściwej, egzogenne antyoksydanty mogą oddziaływać na naczynia krwionośne, wpływając na mikrokążenie skórne [Puzanowska-Tarasiewicz i in. 2010].

Do najważniejszych przeciwutleniaczy roślinnych o niskiej masie cząsteczkowej zalicza się rozpuszczalny w wodzie askorbinian (Asc), glutation i fenole oraz rozpuszczalne w tłuszczach tokoferole, tokotrienole i karotenoidy. Cząsteczki wymienionych substancji mogą samodzielnie reagować z wolnymi rodnikami, jednak skuteczność neutralizacji wolnych rodników jest wyższa w reakcjach przeprowadzanych za pośrednictwem enzymów antyoksydacyjnych. Wśród roślinnych enzymów antyoksydacyjnych największe znaczenie mają dysmutaza ponadtlenkowa, peroksydaza askorbinianowa i katalaza [Dumanović i in. 2021]. Oprócz wymienionych grup przeciwutleniaczy, które określa się jako pierwotne, funkcje antyoksydacyjne wykazują również przeciwutleniacze wtórne, do których

zalicza się cukry, aminokwasy, barwniki, a także wyspecjalizowane metabolity roślinne, takie jak flawonoidy i terpeny [Dumanović i in. 2021].

Askorbinian (Asc) jest uznawany za jeden z najskuteczniejszych antyutleniaczy roślinnych, dzięki swojej zdolności do oddawania elektronów w bardzo szerokim zakresie reakcji enzymatycznych i nieenzymatycznych. Kwas askorbinowy stanowi główną linię obrony przed wolnymi rodnikami, generowanymi w odpowiedzi na stresy środowiskowe [Davey i in. 2000]. Może także bezpośrednio neutralizować rodnik hydroksylowy, anionorodnik ponadtlenkowy i tlen singletowy, a także redukować nadtlenek wodoru z wykorzystaniem peroksydazy askorbinianowej [Dumanović i in. 2021].

Glutation został oznaczony w dużych stężeniach w niemal wszystkich organellach komórkowych, w tym w cytozolu, chloroplastach, retikulum endoplazmatycznym, wakuoli i mitochondriach. Związek ten ma zdolność neutralizowania nadtlenu wodoru w reakcjach enzymatycznych, natomiast działając jako nieenzymatyczny antyoksydant, neutralizuje tlen singletowy, rodnik hydroksylowy i anionorodnik ponadtlenkowy. Jego najważniejszą rolą jako przeciwutleniacza jest zdolność do regeneracji innego silnego hydrofilowego przeciwutleniacza, kwasu askorbinowego, poprzez cykl Asc-GSH [Sharma i in. 2012].

Karotenoidy są bardzo skutecznymi antyoksydantami pochodzenia roślinnego, które nie są syntetyzowane w organizmie człowieka. Wśród najbardziej znanych karotenoidów o właściwościach przeciwutleniających wyróżnia się astaksantynę, betakaroten, likopen, zeaksantynę oraz luteinę. Ta grupa lipofilowych antyoksydantów ma zdolność neutralizacji różnych form wolnych rodników, przy czym najskuteczniej neutralizują lipidowy rodnik nadtlenkowy, zapewniając w ten sposób ochronę błon cytoplazmatycznych [Dumanović i in. 2021]. Astaksantyna jest jednym z najsilniej działających antyoksydantów; jej działanie oceniono na ponad dziesięciokrotnie efektywniejsze, porównując do innych karotenoidów, oraz 100 razy skuteczniej dezaktywuje wolne rodniki niż witamina E [Jopkiewicz 2018]. Skutecznym antyoksydantem jest również likopen, który poprzez zwiększenie przepuszczalności błon plazmatycznych reguluje aktywację szlaków odpowiedzi antyoksydacyjnej w komórce. Wpływa również na zwiększenie efektywności antyoksydacyjnej witaminy

C, E oraz betakarotenu [Liu i in. 2008]. Natomiast działanie luteiny w unieczynnieniu wolnych rodników polega na stymulacji aktywności katalazy, peroksydazy glutationowej oraz dysmutazy ponadtlenkowej [Pośpiech-Jędrzejczak i in. 2013].

Tokoferole i tokotrienole są niezbędnymi składnikami błony komórkowej, w której pełnią między innymi funkcje antyoksydacyjne. Tokoferole są grupą lipofilowych przeciwutleniaczy syntetyzowanych przez organizmy fotosyntetyzujące. Ich obecność oznaczono jedynie w zielonych, aktywnych fotosyntetycznie organach roślin. Aktywność przeciwutleniająca tokoferoli opiera się na ich specyficznej budowie chemicznej, szczegółowo na właściwościach pierścienia chromanolu jako donora elektronów [Dumanović i in. 2021]. Antyoksydanty z grupy tokofenoli chronią lipidy i inne składniki błon komórkowych poprzez fizyczne wychwytywanie wolnych rodników, mają również zdolność unieczynnienia tlenu singletowego na drodze reakcji chemicznych [Sharma i in. 2012]. Witamina E (wspólny termin dla tokoferoli i tokotrienoli) ma potencjał do regeneracji lipidowych rodników peroksydowych, alkilowych i alkoksydowych, powstałych podczas utleniania wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, dzięki temu bezpośrednio zapobiega propagacji sekwencji autooksydacji warstwy lipidowej. Oddając atomy wodoru do rodnika, witamina E staje się rodnikiem tokoferolu, który nie jest wystarczająco reaktywny, aby niezależnie inicjować peroksydację błon, co jest dodatkowo ważnym kryterium przy ocenie przeciwutleniaczy pod względem ich skuteczności [Kohen i Nyska 2022].

Polifenole to duża grupa wyspecjalizowanych metabolitów roślinnych, do której zalicza się flawonoidy, kwasy fenolowe, garbniki, estry hydroksycynamonowe, stilbeny i lignany. Zdolność przeciwutleniająca fenoli jest związana z ich strukturą (pierścień aromatyczny z podstawnikami -OH i -OCH₃), która umożliwia wychwytywanie wolnych rodników. Związki te mają również zdolność wychwytywania tlenu singletowego i hamowania peroksydacji lipidów poprzez unieczynnienie alkoksydowych rodników lipidowych [Sharma i in. 2012]. Innym mechanizmem związanym z właściwościami antyoksydacyjnymi fenoli jest ich zdolność do modyfikowania kinetyki peroksydacji, poprzez zmianę składu lipidowego błony i tym samym zmniejszenie jej płynności. Zmiany te mogą ograniczać dyfuzję wolnych rodników i hamować reakcje peroksydacji lipidów błonowych. Badania dowodzą, że

niektóre związki fenolowe mogą być zaangażowane w kaskadę wychwytywania nadtlenu wodoru [Takahama i Oniki 1992]. Polifenole, współdziałając z witaminami C i E oraz karotenoidami, obniżają poziom stresu oksydacyjnego. Ponadto wykazują działanie stabilizujące witaminę C, chroniąc ją przed utlenieniem [Paszkiwicz i in. 2012]. Flawonoidy wpływają na stymulację aktywności enzymów antyoksydacyjnych, a także biorą udział w regulacji procesu utleniania cholesterolu. Kwasy fenolowe natomiast przeciwdziałają uszkodzeniu komórek przez wolne rodniki oraz stymulują syntezę glutationu. Wpływają również na hamowanie peroksydacji lipidów i oksydacji lipoprotein [Akbari i in. 2021].

Możliwości wykorzystania roślinnych antyoksydantów w kosmetologii

Wysoką aktywność antyoksydacyjną wykazują ekstrakty z wierzbówki kiprzycy (*Epilobium angustifolium* L.), wąkroty azjatyckiej (*Centella asiatica* L.) i klitorii ternateńskiej (*Clitoria ternatea* L.) [Zagórska-Dziok i in. 2021]. W ekstraktach z wierzbówki kiprzycy oznaczono duże ilości związków polifenolowych, w tym flawanole-3-O-glikozydów, wykazujących silne właściwości przeciwzapalne. Ponadto oznaczono elagotaniny, galotaniny, kwasy fenolowe, steroidy, triterpeny i kwasy tłuszczowe [Bazyłko i in. 2007]. Ekstrakt z wąkroty azjatyckiej jest bogaty w charakterystyczny dla gatunku azjatykozyd, azjatykozyd B i madekasozyd oraz kwasy azjatykowy i madeksowy. Oprócz wymienionych substancji aktywnych w ekstrakcie znajdziemy również flawonoidy, karotenoidy, kwasy fenolowe, fitosterole, mono- i polisacharydy, a także witaminy C, B1 i B2. Tak bogaty skład surowca gwarantuje jego właściwości antyoksydacyjne, przeciwzapalne, regenerujące i przeciwstarzeniowe, co sprawia, że ekstrakt z wąkroty azjatyckiej jest obecnie jednym z najczęściej wykorzystywanych w recepturowaniu kosmetyków pielęgnacyjnych [Zagórska-Dziok i in. 2021]. Dużą koncentrację antocyjanów, a także kwercetyny oraz pochodnych kemferolu, oznaczono w ekstrakcie z kwiatów klitorii ternateńskiej. Surowiec ten cieszy się coraz większą popularnością jako składnik kosmetyków o właściwościach antyoksydacyjnych, przeciwzapalnych i antybakteryjnych [Zagórska-Dziok i in. 2021].

Ekstrakt z winorośli właściwej (*Vitis vinifera* L.) uznawany jest za jeden z najsilniejszych antyoksydantów stosowanych w produktach kosmetycznych. Jego zdolność unieczynnienia anionów ponadtlenkowych i rodników hydroksylowych oznaczono na poziomie 78–81%, co pozwala na stwierdzenie, że jest on silniejszym antyoksydantem niż witamina C [Michalak 2022]. Skuteczne działanie antyoksydacyjne, chroniące komórki skóry przed uszkodzeniami wywołanymi promieniowaniem UV, wykazują również ekstrakty z nagietka lekarskiego (*Calendula officinalis* L.) i owoców granatowca właściwego (*Punica granatum* L.) [Michalak 2022].

Surowce roślinne są wprowadzane do receptur kosmetycznych nie tylko w formie ekstraktów, ale również jako wyizolowane składniki aktywne. Rosnącą popularnością cieszy się obecnie kurkumina pozyskiwana z kłącza ostryżu długiego (*Curcuma longa* L.), jako składnik aktywny o działaniu antyoksydacyjnym i przeciwstarzeniowym [Michalak 2022]. Silne właściwości przeciwutleniające wykazuje również galusan epigallokatechiny, pozyskiwany z herbaty chińskiej (*Camellia sinensis* (L.) Kuntze). Badania naukowe potwierdzają jego korzystny wpływ na łagodzenie skutków działania promieniowania UV na skórę, a także działanie fotoprotekcyjne [Jeon i in. 2009]. Prowadzono również badania nad skutecznością działania antyoksydacyjnego izoflawonów (ekwolu, isoekwolu i dehydroekwolu) pozyskanych z koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense* L.), wprowadzonych jako substancja aktywna do balsamu. Wyniki sugerują, że jako składnik preparatu kosmetycznego, substancje te skutecznie wspomagają ochronę antyoksydacyjną przed promieniowaniem UV [Widyarani i in. 2001].

Wnioski

Surowce roślinne są stosowane od wieków do pielęgnacji skóry na całym świecie. Po fascynacji składnikami syntetycznymi i półsyntetycznymi przemysł kosmetyczny wraca do substancji pochodzenia naturalnego, zwłaszcza roślinnego. Dlatego w innowacyjnych składach preparatów kosmetycznych, zwłaszcza przeznaczonych do pielęgnacji, oczyszczania i ochrony skóry, obecnie przeważają surowce roślinne, co pozwala na stwierdzenie, że obecne trendy skupiają się właśnie na tych

substancjach. Miejscowe stosowanie antyoksydantów, zarówno w formie wyizolowanych substancji, jak i ekstraktów roślinnych, wspiera endogenne mechanizmy obronne skóry, pomagając niwelować uszkodzenia oksydacyjne powstałe wskutek działania promieniowania UV, a także zapobiega chorobom zależnym od stresu oksydacyjnego. Te dwa wymienione aspekty działania antyoksydantów roślinnych są szczególnie ważne, ponieważ promieniowanie UV – docierające bezpośrednio do niechronionej skóry – prowadzi do fotooksydacyjnego uszkodzenia lipidów, białek i DNA, a to wiąże się z przedwczesnym starzeniem i ma wpływ na rozwój raka skóry. Pomimo ogromnej wiedzy, którą obecnie dysponujemy, potrzebne są dalsze badania, w tym kliniczne, nad skutecznością i bezpieczeństwem działania surowców roślinnych.

Bibliografia

- Akbari S., Abdurahman N.H., Yunus R.M., Alsaggaf A.H.A., Ahmed N., 2021. LC-QTOF-MS analysis of phenolics and saponins extracted from Aloe vera leaves via microwave technology in optimal condition. *South Afr. J. Bot.* 139, 362–373, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.02.027>
- Bazyłko A., Kiss A.K., Kowalski J., 2007. High-performance thin-layer chromatography method for quantitative determination of oenothien band quercetin glucuronide in aqueous extract of *Epilobii angustifolii* herba. *J. Chromatogr. A.* 1173, 146–150, <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2007.10.019>
- Buonocore D., Lazzeretti A., Tocabens P., Nobile V., Cestone E., Santin G., Bottone M.G., Marzatico F., 2012. Resveratrol-procyanidin blend: nutraceutical and antiaging efficacy evaluated in a placebo-controlled, double-blind study. *Clinic. Cosmetic. Investigat. Dermatol.* 5, 159–165, <https://doi.org/10.2147/CCID.S36102>
- Cho S., Lee D.H., Won C.H., Kim S.M., Lee S., Lee M.J., Chung J.H., 2010. Differential effects of low-dose and high-dose beta-carotene supplementation on the signs of photoaging and type I procollagen gene expression in human skin in vivo. *Dermatology* 221(2), 160–171, <https://doi.org/10.1159/000305548>
- Davey M.W., Montagu M.V., Inze D., Sanmartin M., Kanellis A., Smirnoff N., Benzie I.J.J., Strain J.J., Favell D., Fletcher J., 2000. Plant L-ascorbic acid: chemistry,

function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *J. Sci. Food Agric.* 80, 825–860, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6)

Dumanović J., Nepovimova E., Natić M., Kuća K., Jačević V., 2021. The significance of reactive oxygen species and antioxidant defense system in plants: a concise overview. *Front. Plant Sci.* 11, 552969, <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.552969>

Jeon H.Y., Kim J.K., Kim W.G., Lee S.J., 2009. Effects of oral epigallocatechin gallate supplementation on the minimal erythema dose and UV-induced skin damage. *Skin Pharmacol. Physiol.* 22, 137–141, <https://doi.org/10.1159/000201562>

Jopkiewicz S., 2018. Stres oksydacyjny. Część II. Profilaktyka powstawania uszkodzeń wolnorodnikowych. *Med. Środ.* 21(2), 53–59, <https://doi.org/10.19243/2018208>

Kasote D.M., Hegde M.V., Katyare S.S., 2013. Mitochondrial dysfunction in psychiatric and neurological diseases: cause(s), consequence(s), and implications of antioxidant therapy. *Biofactors.* 39, 392–406, <https://doi.org/10.1002/biof.1093>

Kohen R., Nyska A., 2002. Invited review: oxidation of biological systems: oxidative stress phenomena, antioxidants, redox reactions, and methods for their quantification. *Toxicol. Pathol.* 30, 620–650, <https://doi.org/10.1080/01926230290166724>

Liu D., Shi J., Colina Ibarra A., 2008. The scavenging capacity and synergistic effects of lycopene, vitamin E, vitamin C, and β -carotene mixtures on the DPPH free radical. *LWT-Food Sci. Technol.* 41, 1344–1349, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.08.001>

Michalak M., 2022. Plant-derived antioxidants: significance in skin health and ageing process. *Int. J. Mol. Sci.* 23(2), 585, <https://doi.org/10.3390/ijms23020585>

Paszkievicz M., Budzyńska A., Różalska B., Sadowska B., 2012. Immunomodulacyjna rola polifenoli roślinnych. *Post. Hig. Med. Dosw.* 66, 637–46, <https://doi.org/10.5604/17322693.1009908>

Pośpiech-Jędrzejczak K., Kowalski M., Kowalska-Bielecka A., Dudek I., Błaszczak J., 2013. Wpływ suplementacji luteiną na wybrane elementy obrony antyoksydacyjnej

erytrocytów u ludzi zdrowych – doniesienie wstępne. Probl. Hig. Epidemiol. 94(3), 522–526.

Puzanowska-Tarasiewicz H., Kuźmicka L., Tarasiewicz M., 2010. Antyoksydanty a reaktywne formy tlenu. Bromat. Chem. Toksykol. 43, 9–14.

Sharma P., Jha A.B., Dubey R.S., Pessarakli M., 2012. Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidant defence mechanism in plants under stressful conditions. J. Bot. 2012, 217037, <https://doi.org/10.1155/2012/217037>

Skotnicka M., Golan M., Szukała N., 2017. Rola naturalnych przeciwutleniaczy pochodzenia roślinnego w profilaktyce nowotworowej. Ann. Acad. Med. Gedan. 47, 119–127.

Takahama U., Oniki T., 1992. Regulation of peroxidase-dependent oxidation of phenolics in the apoplast of spinach leaves by ascorbate. Plant Cell Physiol. 33, 379–387.

Widyarini S., Spinks N., Husband A.J., Reeve V.E., 2001. Isoflavonoid compounds from red clover (*Trifolium pratense*) protect from inflammation and immune suppression induced by UV radiation. Photochem. Photobiol. 74, 465–470, [https://doi.org/10.1562/0031-8655\(2001\)074<0465:icfrct>2.0.co;2](https://doi.org/10.1562/0031-8655(2001)074<0465:icfrct>2.0.co;2)

Zabłocka Z., Janusz M., 2008. Dwa oblicza wolnych rodników tlenowych. Post. Hig. Med. Dosw. 62, 118–124.

Zagórska-Dziok M., Ziemlewska A., Bujak T., Nizioł-Łukaszewska Z., Hordyjewicz-Baran Z., 2021. Cosmetic and dermatological properties of selected ayurvedic plant extracts. Molecules 26, 614, <https://doi.org/10.3390/molecules26030614>

Abstract

Human skin is constantly exposed to environmental factors, including ultraviolet radiation. One of the most frequently observed effects of long-term exposure to UV radiation is photoaging of the skin, which manifests itself as deepening wrinkles, discolouration and loss of firmness and elasticity. A disruption of the homeostasis between the amount of free radicals and the antioxidant defence systems operating

within the cell is considered one of the main causes of the observed changes. The human body has a well-developed antioxidant system, but during periods of prolonged exposure to UV radiation, it is advisable to support the skin's defence mechanisms with cosmetic preparations rich in active substances of plant origin. The aim of this study was to present plant antioxidants and to identify compounds of antioxidant nature that can be used in the cosmetic industry. Examples of plant raw materials that are currently being tested for potential use in the formulation of cosmetic preparations with antioxidant activity are also presented. In recent years, the testing of plants for antioxidant activity has been of particular interest to scientists, and antioxidant-rich plant extracts are widely used in industry. The cited literature data indicate the enormous application potential of both specific substances isolated from plants and extracts with antioxidant properties. However, their use in the formulation of cosmetic preparations requires further detailed research in terms of both efficacy and safety.

Key words: low molecular weight antioxidants, plant antioxidants, anthocyanins, carotenoids, polyphenols, tocopherols

Próba syntezy informacji o działaniu przeciwnowotworowym i bezpieczeństwie stosowania surowców roślinnych zawierających amigdalinę

An attempt to synthesize information on the anticancer activity and safety of using plant materials containing amygdalin

Michał M. Skoczylas  <https://orcid.org/0000-0003-3462-7840>

Collegium Medicum, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Lublin
e-mail: michal.skoczylas@kul.pl

Barbara Misiło  <https://orcid.org/0009-0007-5702-4715>

Apteka pod Gwiazdą, Przeworsk

Monika Rajkowska-Myśliwiec  <https://orcid.org/0000-0002-7877-4845>

Katedra Toksykologii, Technologii Mleczarskiej i Przechowywania Żywności,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Katarzyna Warchoń  <https://orcid.org/0009-0008-5931-4473>

Collegium Medicum, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Lublin

Monika Olchawa-Pajor  <https://orcid.org/0000-0002-8263-6429>

Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu, Akademia Tarnowska, Tarnów

Anna Maria Lasek  <https://orcid.org/0000-0001-5004-2442>

Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu, Uniwersytecki Szpital Kliniczny
w Poznaniu

Anna Irzmańska-Hudziak  <https://orcid.org/0000-0003-4446-2592>

Collegium Medicum, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II, Lublin

Streszczenie

Literatura naukowa – zarówno ta dawna, jak i najnowsza – zawiera wiele rozbieżnych informacji na temat przeciwnowotworowego działania amigdaliny, obecnej w surowcach roślinnych, i bezpieczeństwa spożywania tych surowców. Bezpieczeństwo, o którym mowa, jest znacznie ograniczone z powodu ryzyka zatrucia cyjankami roślinnymi, powstającymi w wyniku metabolizmu amigdaliny. Przegląd literatury został przeprowadzony w celu nakreślenia głównych problemów w tym zakresie. W komórkach nowotworowych amigdalina jest przekształcana w cyjanowodór, dzięki temu obserwuje się jej działanie przeciw rakowi jamy ustnej, żołądka, jelita grubego, wątroby, trzustki, płuc, nerek, pęcherza moczowego, szyjki macicy, piersi, gruczołu krokowego, rakowi Ehrlicha z wodobrzuszem, białaczkom, nowotworom skóry, glejakowi mózgu oraz mięsakowi limfatycznemu. Obiecujące wyniki badań nad działaniem przeciwnowotworowym amigdaliny czynią zasadnym staranie, aby unikać sytuacji sprzyjających zatruciu. Bezpieczeństwo stosowania wydaje się zależeć w dużym stopniu nie tylko od ilości surowców zawierających amigdalinę (w przeliczeniu na masę ciała człowieka), ale także okoliczności spożywania roślin ją zawierających (m.in. żywności zawierającej probiotyki i niekorzystnego wpływu witaminy C) oraz bakterii jelitowych. Należy wykazywać wieloaspektową ostrożność w spożywaniu części roślin zawierających amigdalinę.

Słowa kluczowe: amigdalina, działania niepożądane, efekt terapeutyczny, nowotwory, ziołolecznictwo

Wstęp

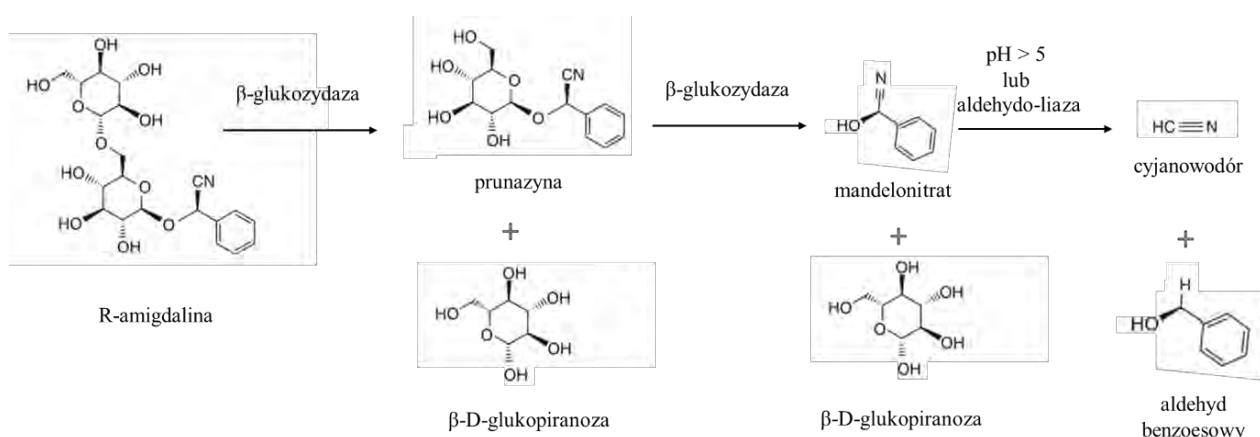
Terapie uzupełniające – prowadzone w leczeniu przeciwnowotworowym – są opracowane szczególnie w celu wzmocnienia odporności, łagodzenia bólu wynikającego z samej dolegliwości lub zmniejszania działań niepożądanych, będących skutkami leczenia zachowawczego. Wśród nich znalazły się rozwiązania oparte na produktach naturalnych, takich jak witaminy, produkty roślinne, suplementy diety, zioła, przyprawy, specjalne pokarmy lub diety [Guerra-Martín i in. 2021]. Szczególną uwagę opinii publicznej przyciągnęły rośliny zawierające aktywny składnik – amigdalinę [Tiedeken i in. 2014, Tvardá i in. 2024]. W 1830 roku Francuzi Pierre Jean Robiquet i Antoine François Boutron-Charlard wyizolowali ją z migdałów [Wisniak 2013]. Inne naturalne źródła amigdaliny charakteryzowane w licznych publikacjach naukowych i popularnonaukowych to m.in. agrest, arbuz kolokwinta, arbuz zwyczajny, aronia czarna, brzoskwinia zwyczajna, grusza pospolita, jabłoń domowa, morela pospolita, śliwa domowa oraz wiśnia i czereśnia.

Literatura naukowa zawiera wiele rozbieżnych informacji na temat przeciwnowotworowego działania amigdaliny znajdującej się w surowcach roślinnych i bezpieczeństwa spożywania tych surowców, które jest znacznie ograniczone z powodu ryzyka zatrucia cyjankami roślinnymi powstającymi w wyniku metabolizmu amigdaliny. Przegląd literatury z baz DOAJ, Google Scholar, PubChem, Medline/PubMed, Science Direct i Wiley Online Library został przeprowadzony w celu nakreślenia głównych problemów w tym zakresie.

Charakterystyka ogólna amigdaliny i jej wpływu na organizm ludzki, w tym wobec nowotworów

Amigdalina jest cyjanogennym diglikozydem, który w wyniku reakcji enzymatycznych rozkładany jest do dwóch cząsteczek β -D-glukopiranozy, aldehydu benzoowego i cyjanowodoru [Zdrojewicz i in. 2015]. Rozkład nietoksycznej amigdaliny do silnie toksycznego cyjanowodoru obejmuje trzy etapy. W pierwszy i drugi etap zaangażowane są enzymy zaliczane do β -glukozydaz, które katalizują hydrolityczny rozpad wiązań glikozydowych.

W wyniku odłączenia od amigdaliny pierwszej cząsteczki β -D-glukopiranozy powstaje prunazyne (monoglikozyd), z której w drugim etapie powstaje pozbawiony ugrupowań cukrowych mandelonitrat [Nowak i in. 2016]. Trzeci etap, czyli rozpad mandelonitratu na aldehyd benzoesowy i cyjanowodór, może zachodzić spontanicznie w roztworach o pH > 5 lub być katalizowany przez aldehydolizy, np. liazę hydroksynitrylową [Milazzo i in. 2007, Saberi Hasanabadi i in. 2022, Alwan i in. 2023] (ryc. 1).



Ryc. 1. Etapy rozkładu amigdaliny [na podstawie: Milazzo i in. 2007, Saberi Hasanabadi i in. 2022, Alwan i in. 2023]

Pod koniec pierwszej połowy XIX po raz pierwszy zaczęto rozważać amigdalinę jako potencjalny lek przeciwnowotworowy. Od tamtej pory liczne badania laboratoryjne wykazały, że ta substancja może wywoływać apoptozę komórek nowotworowych, blokować lub spowalniać wzrost komórek nowotworowych oraz zapobiegać przerzutom [Kolesarova i in. 2021, Alwan i in. 2023]. Wpływ amigdaliny na komórki nowotworowe, przy jednoczesnym braku wpływu na komórki zdrowe, nie został do końca wyjaśniony. Przypuszcza się, że może mieć to związek z większą wydajnością β -glukozydaz w komórkach nowotworowych, w porównaniu z komórkami zdrowymi, przy jednoczesnym niedoborze rodanazy [Zdrojewicz i in. 2015, Alwan i in. 2023]. W wyniku zainicjowanego przez β -glukozydazy rozpadu amigdaliny, powstający cyjanowodór nie może być zatem skutecznie przekształcany przez rodanazę w mniej szkodliwe tiocyjanki [Zdrojewicz i in. 2015, Nowak i in. 2016]. To z kolei powoduje

wzrost stężenia cyjanowodoru, który poprzez hamowanie oksydazy cytochromu C w mitochondriach, powoduje znaczny wzrost śmiertelności komórek [Kolesarova i in. 2021].

Metabolizm amigdaliny w organizmie człowieka, a w szczególności powstawanie cyjanowodoru i jego dalsze losy, uzależnione są od kilku czynników, takich jak sposób podania amigdaliny czy mikrobiota jelit [Nowak i in. 2016]. Amigdalina przyjmowana doustnie, nim trafi do krwiobiegu, może ulec rozkładowi nie tylko przez enzymy jelitowe, ale również przez enzymy syntetyzowane przez mikroorganizmy. W zależności od tego, która grupa enzymów jest zaangażowana w rozkład amigdaliny, powstają inne produkty rozpadu. W przypadku enzymów jelitowych końcowy produkt przemian to prunazyna, a z kolei aktywność enzymów pochodzenia mikrobiologicznego sprzyja powstawaniu cyjanowodoru. Z wyników najnowszych badań wiadomo, że bakterie jelitowe odpowiadają za dwukierunkową regulację – toksyczności i detoksykacji – amigdaliny [Wen i in. 2022]. Bakterie z gromad Firmicutes, Bacteroidetes i Actinobacteria biorą udział w procesie przekształcania amigdaliny w cyjanowodór [Alwan i in. 2023]. Z uwagi na to, że wchodzi ona w skład prawidłowej mikrobioty jelit, przyjmowanie amigdaliny doustnie, zwłaszcza w dużych ilościach, może nieść za sobą niepożądane skutki. Nowak i in. [2016] podają, że bezpieczniejszą alternatywą jest podawanie amigdaliny dożylnie, gdyż we krwi brak enzymów katalizujących powstawanie cyjanowodoru. Doniesienia literaturowe o zatruciach dożylnymi preparatami amigdaliny są jednak częstsze niż zatrucia surowcami roślinnymi bogatymi w ten związek.

Amigdalina wykazuje znaczną aktywność przeciwnowotworową w przypadku białaczek, w tym białaczki monocytowej (THP-1) [Abdel-Gawad i in. 2024], białaczki ostrej (NALM-6 i KG-1) [Mosadegh Manshadi i in. 2019] oraz w przypadku nowotworów jelita grubego (SW-480), piersi, prostaty, raka Ehrlicha [Hakimi i in. 2023, Askar i in. 2023, Tsaur i in. 2022, Attia i in. 2022]. W przypadku nowotworów litych, takich jak rak płuc, trzustki, nerkowokomórkowy czy glejak mózgu, efektywność amigdaliny jest ograniczona, a jej działanie terapeutyczne wymaga dalszych badań i może być zależne od zastosowanej terapii wspomagającej [Li i in. 2014, Aamazadeh i in. 2020, Juengel i in. 2016, Barakat i in. 2022].

Bezpieczeństwo stosowania surowców i produktów zawierających amigdalinę i ich potencjalna toksyczność

Doniesienia o zatruciach surowcami roślinnymi bogatymi w amigdalinę w zakresie medycyny ludzkiej są sporadyczne. Każde z nich jest jednak warte uwagi, ponieważ może wynikać nie tylko z dużej dawki surowca, ale i szczególnych czynników towarzyszących, np. przyjmowania wysokich dawek witaminy C, która ogranicza zdolności organizmu do odtruwania z tej substancji. Jednocześnie podkreślenia wymaga fakt, że zatrucie metabolitami amigdaliny może prowadzić do śmierci [Ardenne i Reitnauer 1975, Pendergrass i Davis 1981, Shragg i in. 1982, Gopalan 1992, Lei i in. 1999, Bromley i in. 2005, Bolarinwa 2015, Shively i in. 2020].

Niestety wciąż niewiele wiadomo na temat toksycznych i terapeutycznych dawek amigdaliny, szczególnie w odniesieniu do ryzyka zmniejszenia zdolności rozrodczych [Tvrdá i in. 2024]. U królików domięśniowe podawanie czystej amigdaliny może wiązać się z zależnymi od czasu zmianami w równowadze męskich hormonów rozrodczych [Albogami i in. 2020] oraz zmniejszeniem ruchu plemników i cech kinematycznych [Kolesar i in. 2018]. W badaniu przeprowadzonym przez Albogami i in. [2020] niska (50 mg/kg m.c.) i średnia dawka amigdaliny (100 mg/kg m.c.) nie wywołały toksyczności w tkankach wątroby i jąder u samców myszy, w przeciwieństwie do dużej dawki amigdaliny (200 mg/kg m.c.), która miała negatywny wpływ na równowagę oksydacyjną u myszy. Wykazano także, że 100 mg/kg m.c. amigdaliny poprawia równowagę oksydacyjną w wątrobie i jądrach samców myszy. Obserwowano istotny wzrost ekspresji mRNA peroksydazy glutationowej, dysmutazy ponadtlenkowej oraz znaczące obniżenie peroksydacji lipidów, przy jednocześnie łagodnych efektach histopatologicznych w porównaniu do grupy kontrolnej. Na podstawie eksperymentów *in vivo* na samcach królików Tvrdá i inni [2024] wykazali toksyczny wpływ czystej amigdaliny na jądra królików – były to negatywne zmiany struktur rozrodczych wynikające z mechanizmu oksydacyjnego, prozapalnego i proapoptycznego. W przeciwieństwie do czystej amigdaliny doustne podanie pestek moreli nie wykazało toksyczności. Według Albogami i in. [2020] rozkład amigdaliny jest związany z nadprodukcją benzaldehydu, który następnie wchodzi w interakcję z nadtlenkiem wodoru, tworząc karboksylan i benzenodiol.

Tvrda i inni [2024] wyciągnęli wniosek, iż karbonylacja białek może być podstawowym mechanizmem utleniania amigdaliny, poprzez który akumulacja wolnych rodników tlenowych i nadmierne poziomy benzaldehydu mogą wywołać utlenianie białek, nawet zanim lipidy zostaną uszkodzone przez peroksydację.

Mimo że spożywanie części roślin bogatych w amigdalinę wiąże się z rozkładaniem ich przez bakterie jelitowe mogące produkować cyjanowodór, to przyjmowanie tej substancji w formie czystej drogą dożylną wydaje się nieść większe ryzyko co do działań niepożądanych. Charakterystyka stosowania amigdaliny dożylnie przekracza ramy niniejszego opracowania.

Wnioski

1. Amigdalina wykazuje działanie przeciw znacznej liczbie nowotworów złośliwych.
2. W przeciwieństwie do ludzkich enzymów trawiennych, enzymy bakterii bytujących w przewodzie pokarmowym sprzyjają powstawaniu cyjanowodoru z rozkładanej amigdaliny.
3. Przyjmowanie dużych ilości witaminy C może sprzyjać zatruciu metabolitami amigdaliny.

Bibliografia

Aamazadeh F., Ostadrahimi A., Rahbar Saadat Y., Barar J., 2020. Bitter apricot ethanolic extract induces apoptosis through increasing expression of Bax/Bcl-2 ratio and caspase-3 in PANC-1 pancreatic cancer cells. Mol. Biol. Rep. 47(3), 1895–1904, <https://doi.org/10.1007/s11033-020-05286-w>

Abdel-Gawad D.R.I., Ibrahim M.A., El-Banna H.A., Hassan W.H., Abo El-Ela F.I., 2024. Evaluating the therapeutic potential of amygdalin: Cytotoxic and antimicrobial properties. Tissue Cell. 89, 102443, <https://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102443>

Albogami S., Hassan A., Ahmed N., Alnefaie A., Alattas A., Alquthami L., Alharbi A. 2020. Evaluation of the effective dose of amygdalin for the improvement of

antioxidant gene expression and suppression of oxidative damage in mice. *PeerJ*. 8:e9232, <https://doi.org/10.7717/peerj.9232>

Alwan A.M., Rokaya D., Kathayat G., Afshari J.T., 2023. Onco-immunity and therapeutic application of amygdalin: A review. *J. Oral Biol. Craniofac. Res.* 13(2), 155–163, <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2022.12.010>

Ardenne M., Reitnauer P.G., 1975. Verstärkung der mit Glukoseinfusion erzielbaren Tumorübersäuerung in vivo durch Amygdalin und beta-Glukosidase. *Arch. Geschwulstforsch.* 45(2), 135–145.

Askar M.A., El-Sayyad G.S., Guida M.S., Khalifa E., Shabana E.S., Abdelrahman I.Y., 2023. Amygdalin-folic acid-nanoparticles inhibit the proliferation of breast cancer and enhance the effect of radiotherapy through the modulation of tumor-promoting factors/ immunosuppressive modulators in vitro. *BMC Complement Med. Ther.* 23(1), 162, <https://doi.org/10.1186/s12906-023-03986-x>

Attia A.A., Salama A.F., Eldiasty J.G., Mosallam S.A.E., El-Naggar S.A., El-Magd M.A., Nasser H.M., Elmetwalli A., 2022. Amygdalin potentiates the anti-cancer effect of Sorafenib on Ehrlich ascites carcinoma and ameliorates the associated liver damage. *Sci. Rep.* 12(1), 6494, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10517-0>

Barakat H., Aljutaily T., Almujaaydil M.S., Algheshairy R.M., Alhomaïd R.M., Almutairi A.S., Alshimali S.I., Abdellatif A.A.H., 2022. Amygdalin: a review on its characteristics, antioxidant potential, gastrointestinal microbiota intervention, anticancer therapeutic and mechanisms, toxicity, and encapsulation. *Biomolecules* 12(10), 1514, <https://doi.org/10.3390/biom12101514>

Bolarinwa I.F. 2015. Synthesis and characterization of hapten-protein conjugates for antibody production against cyanogenic glycosides. *J. Food. Prot.* 78(7), 1408–1413, <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-033>

Bromley J., Hughes B.G., Leong D.C., Buckley N.A., 2005. Life-threatening interaction between complementary medicines: cyanide toxicity following ingestion of amygdalin and vitamin C. *Ann Pharmacother.* 39(9), 1566–1569, <https://doi.org/10.1345/aph.1E634>

Gopalan V., Pastuszyn A., Galey W.R. Jr, Glew R.H., 1992. Exolytic hydrolysis of toxic plant glucosides by guinea pig liver cytosolic beta-glucosidase. *J. Biol. Chem.* 267(20), 14027–14032.

Guerra-Martín M.D., Tejedor-Bueno M.S., Correa-Casado M., 2021. Effectiveness of complementary therapies in cancer patients: a systematic review. *Int. J. Environ. Res. Pub. Health.* 18, 1017, <https://doi.org/10.3390/ijerph18031017>

Hakimi F., Sharifyrad M., Safari H., Khanmohammadi A., Gohari S., Ramazani A., 2023. Amygdalin/chitosan-polyvinyl alcohol/cerium-tannic acid hydrogel as biodegradable long-time implant for cancer recurrence care applications: An in vitro study. *Heliyon* 9(11), e21835, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21835>

Juengel E., Afschar M., Makarević J., Rutz J., Tsaour I., Mani J., Nelson K., Haferkamp A., Blaheta R.A., 2016. Amygdalin blocks the in vitro adhesion and invasion of renal cell carcinoma cells by an integrin-dependent mechanism. *Int. J. Mol. Med.* 37(3), 843–850, <https://doi.org/10.3892/ijmm.2016.2454>

Kolesar E., Tvrdá E., Halenar M., Schneidgenova M., Chrastinova L., Ondruska L., Jurcik R., Kovacik A., Kovacikova E., Massanyi P., Kolesarova A., 2018. Assessment of rabbit spermatozoa characteristics after amygdalin and apricot seeds exposure in vivo. *Toxicol. Rep.* 5, 679–686, <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.05.015>

Kolesarova A., Baldovska S., Roychoudhury S., 2021. The multiple actions of amygdalin on cellular processes with an emphasis on female reproduction. *Pharmaceuticals* 14, 881, <https://doi.org/10.3390/ph1409088>

Lei V., Amoa-Awua W.K., Brimer L. 1999. Degradation of cyanogenic glycosides by *Lactobacillus plantarum* strains from spontaneous cassava fermentation and other microorganisms. *Int. J. Food Microbiol.* 53(2–3), 169–184. [https://doi.org/10.1016/s0168-1605\(99\)00156-7](https://doi.org/10.1016/s0168-1605(99)00156-7)

Li W., Chen C., Saud S.M., Geng L., Zhang G., Liu R., Hua B., 2014. Fei-Liu-Ping ointment inhibits lung cancer growth and invasion by suppressing tumor inflammatory microenvironment. *BMC Complement. Altern. Med.* 14, 153, <https://doi.org/10.1186/1472-6882-14-153>

Milazzo S., Lejeune S., Ernst E., 2007. Laetrile for cancer: a systematic review of the clinical evidence. *Support. Care Cancer* 15, 583–595, <https://doi.org/10.1007/s00520-006-0168-9>

Mosadegh Manshadi S., Safavi M., Rostami S., Nadali F., Shams Ardekani M.R., 2019. Apoptosis induction of armeniacaee semen extractin human acute leukemia (NALM-6 and KG-1) Cells. *Int. J. Hematol. Oncol. Stem. Cell Res.* 13(3), 116–121.

Nowak A., Zielińska A., 2016. Aktywność przeciwnowotworowa amigdaliny. *Post Fitoter.* 17(4), 282–292.

Pendergrass T.W., Davis S., 1981. Knowledge and use of “alternative” cancer therapies in children. *Am. J. Pediatr. Hematol. Oncol.* 3(4), 339–45.

Saberi Hasanabadi P., Shaki F., 2022. The pharmacological and toxicological effects of amygdalin: a review study. *Pharm. Biomed. Res.* 8(1), 1–12, doi.org/10.18502/pbr.v8i1.9381

Shively R.M., Harding S.A., Hoffman R.S., Hill A.D., Astua A.J., Manini A.F., 2020. Rebound metabolic acidosis following intentional amygdalin supplement overdose. *Clin Toxicol (Phila).* 58(4), 290–293, <https://doi.org/10.1080/15563650.2019.1640369>

Shragg T.A., Albertson T.E., Fisher C.J. Jr., 1982. Cyanide poisoning after bitter almond ingestion. *West J. Med.* 136(1), 65–69.

Tiedeken E.J., Stout J.C., Stevenson P.C., Wright G.A., 2014. Bumblebees are not deterred by ecologically relevant concentrations of nectar toxins. *J. Exp. Biol.* 217(9), 1620–1625, <https://doi.org/10.1242/jeb.097543>

Tsaur I., Thomas A., Monecke M., Zugelder M., Rutz J., Grein T., Maxeiner S., Xie H., Chun F.K., Rothweiler F., Cinatl J. Jr, Michaelis M., Haferkamp A., Blaheta R.A., 2022. Amygdalin exerts antitumor activity in taxane-resistant prostate cancer cells. *Cancers (Basel)* 14(13), 3111, <https://doi.org/10.3390/cancers14133111>

Tvrda E., Ďuračka M., Halenár M., Pivko J., Kolesár E., Chrastinová Ľ., Ondruška Ľ., Jurčík R., Kolesárová A., 2024. The effects of apricot kernels and pure amygdalin on

the structural, oxidative, and inflammatory characteristics of rabbit testicular tissue. *Front Biosci. (Landmark Ed)* 25, 29(6), 235, <https://doi.org/10.31083/j.fbl2906235>

Wen Q., Yu S., Wang S., Qin Y., Xia Q., Wang S., Chen G., Shen C., Song S., 2022. Impact of intestinal microbiota on metabolic toxicity and potential detoxification of amygdalin. *Front Microbiol.* 13, 1030516, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1030516>

Wisniak J., 2013. Pierre-Jean Robiquet. *Educ. quím.*, 24 (núm. extraord. 1), 139–149.

Zdrojewicz Z., Otlewska A., Heckremer P., Otlewska A., 2015. Amigdalina – budowa i znaczenie kliniczne. *Pol. Merkur. Lek.* 227, 300–303.

Abstract

The old and new scientific literature contains many divergent information on the anticancer effects of amygdalin found in plant raw materials and the safety of consuming these materials, which is significantly limited due to the risk of poisoning with plant cyanides resulting from the metabolism of amygdalin. A literature review was conducted to outline the main problems in this area. Amygdalin is converted into hydrogen cyanide in cancer cells, thanks to which its effects are observed against cancers of the oral cavity, stomach, colon, liver, pancreas, lung, kidney, bladder, cervix, breast, prostate, Ehrlich carcinoma with ascites, leukemia, skin cancer, glioma of the brain and lymphosarcoma. Promising results of studies on the anticancer effects of amygdalin make it reasonable to avoid situations conducive to poisoning. The safety of use seems to depend to a large extent not only on the amount of raw materials containing amygdalin (in terms of human body weight) but also on the circumstances of consuming plants containing it (including food containing probiotics and unfavorable influence of vitamin C) and intestinal bacteria. Multifaceted caution should be exercised in consuming parts of plants containing amygdalin.

Key words: amygdalin, adverse effects, neoplasms, phytotherapy, therapeutic effect

Właściwości i zastosowanie silymaryny w fitoterapii łuszczycy i przebarwień skóry

Properties and application of silymarin in the phytotherapy of psoriasis and skin discoloration

Mirosława Chwil  <https://orcid.org/0000-0001-5912-5324>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin

Renata Matraszek-Gawron  <https://orcid.org/0000-0003-0581-0750>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin
email: renata.matraszek@up.lublin.pl

Bożena Denisow  <https://orcid.org/0000-0001-6718-7496>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin

Streszczenie

Silybum marianum (L.) Gaertner stosowano w medycynie ludowej w postaci różnych surowców: *Silybi mariani fructus*, *Silybi mariani semen* i *Silybi mariani herba* w terapii wielu jednostek chorobowych. Silymarynę pozyskuje się z *Silybi mariani fructus*. Celem pracy było określenie właściwości silymaryny w fitoterapii łuszczycy i przebarwień skóry (melasma, ostuda) na podstawie przeglądu aktualnego stanu wiedzy. Silymaryna w terapii łuszczycy zmniejsza stan zapalny i hiperprolifrację

oraz niewłaściwe różnicowanie keratynocytów naskórka i aktywuje jądrowy czynnik transkrypcyjny pochodzenia erytroidalnego typu 2 (ang. *nuclear factor erythroid 2-related factor 2*, NRF2). w leczeniu melasmy sylimaryna łącznie z reaktywnymi formami tlenu w procesie melanogenezy zwiększa aktywność melanocytów i redukuje pigmentację skóry. Sylimaryna może stanowić skuteczny składnik w nowych recepturach farmaceutycznych i kosmetycznych, które mogłyby być stosowane w problemach dermatologicznych. Niezbędne są dalsze badania wyjaśniające mechanizm działania sylimaryny w procesach antyoksydacyjnych, przeciwzapalnych i immunomodulacyjnych w różnych zaburzeniach dermatologicznych. Stosowanie sylimaryny w fitoterapii wymaga jednak badań klinicznych w zakresie skuteczności, stabilności, bezpieczeństwa i przeciwwskazań.

Słowa kluczowe: *Silybi mariani fructus*, ostropest plamisty, *psoriasis*, melasma, fitoterapia, biologicznie aktywne związki

Wstęp

Ostropest plamisty (*Silybum marianum* L. Gaertner) z rodziny Asteraceae pochodzi z Afryki Północnej, Europy Południowej i Rosji Południowej [Bijak 2017]. Gatunek ten jest obecnie uprawiany w wielu rejonach Europy, Azji, Australii Południowej, Ameryce Północnej i Południowej jako roślina lecznicza i ozdobna [Marmouzi i in. 2021].

Ostropest plamisty stosowany był w medycynie ludowej w postaci różnych surowców: ziela (*Silybi mariani herba*), owoców (*Silybi mariani fructus*) i nasion (*Silybi mariani semen*) w terapii: chorób przewodu pokarmowego, dróg żółciowych i wątroby [Hussain i in. 2010, Abbaszadeh i in. 2018], żółtaczki i chorób nowotworowych, w tym raka skóry, prostaty i jelita grubego [Emadi i in. 2022]. Prozdrowotnie działającą sylimarynę pozyskuje się z *Silybi mariani fructus* [Katiyar i in. 2024, Rahimi i in. 2024, Surai i in. 2024, Zhao i in. 2024].

Celem pracy było określenie właściwości sylimaryny jako źródła biologicznie aktywnych związków chemicznych, potencjalnych składników leków, produktów farmaceutycznych i kosmetycznych w terapii łuszczycy i melasmy na podstawie przeglądu aktualnego stanu wiedzy w oryginalnej literaturze naukowej.

Biologicznie aktywne związki i właściwości fizyczno-chemiczne sylimaryny

Sylimaryna jest ekstraktem uzyskanym z suszonych owoców *S. marianum*. Ekstrakt ten zawiera 70–80% kompleksu sylimaryny i 20–30% frakcji obejmującej głównie polimeryczne i utlenione związki polifenolowe [Šimánek i in. 2000]. Głównym składnikiem kompleksu sylimaryny jest sylibina (mieszanina 2 diastereoizomerów 1:1) oraz inne flawonolignany: dehydrosylibiny, izosylibiny, sylidianiny i sylikrystyny, a także flawonoidy, głównie taksyfolina [Šimánek i in. 2000, Chambers i in. 2017, Tvrdý i in. 2021]. Zawartość sylimaryny w *Silybi mariani fructus* wynosiła 1,5–3,1%, w tym około 50% stanowiła sylibina [Šimánek i in. 2000]. Sylimaryna rozpuszcza się w octanie etylu i acetonie [Wianowska i Wiśniewski 2015]. Rozpuszczalność tego kompleksu w temperaturze 25°C w różnych rozpuszczalnikach organicznych jest zróżnicowana (mg/ml): transcutol P (350), glikol polietylenowy – PEG 200 (346), etanol (225), glikol propylenowy (162), glikol polietylenowy – PEG 400 (63), węglan propylenu (59), labrasol (58), monooleinian gliceryny (33), monolaurynian polioksyetyleno-20-sorbitanu (33), tokoferol (20), linoleinian etylu (2), a w wodzie jest praktycznie nierozpuszczalna (0,4), co ogranicza jej aktywność biologiczną [Tvrdý i in. 2021].

Prozdrowotne działanie sylimaryny

Udokumentowano, że sylimaryna charakteryzuje się szerokim zakresem farmakologicznych właściwości, między innymi działa przeciwzapalnie [Katiyar 2005, Mota i in. 2024, Surai i in. 2024, Zhao i in. 2024], przeciwutleniająco [Katiyar 2005, Aghemo i in. 2022], przeciwbakteryjnie [Radhika i in. 2017], przeciwproliferacyjnie [Rahimi i in. 2024], przeciw włóknieniowo [Abdullah i in. 2021, Abdullah i in. 2022A], przeciwtrądzikowo [Atallah i in. 2024], przeciwłuszczykowo [Momin i in. 2024, Kamel i in. 2024], przeciw cukrzycowo [Surai i Surai 2023], fotoprotekcyjnie [Rajnochová-Svobodová i in. 2018], immunomodulująco [Katiyar 2005, Abbasirad i in. 2021] i przeciwnowotworowo [Emadi i in. 2022, Wang i in. 2023]. Ponadto zmniejsza objawy melasmy [Speeckaert i in. 2023] i przyspiesza gojenie się ran [Katiyar i in. 2024]. Pełni ochronną funkcję przed efektami wywołanymi chemioterapią, między

innymi nefrotoksycznością, hepatotoksycznością, kardiotoxycznością i neurotoksycznością [Wang i in. 2023, Arab i in. 2024]. Wykazuje także właściwości chemoprewencyjne, modulując białka antyapoptotyczne [Emadi i in. 2022, Wang i in. 2023].

Sylimaryna w terapii wybranych problemów dermatologicznych

Sylimaryna ma duży potencjał w bezpiecznym i skutecznym leczeniu wielu zaburzeń metabolicznych i dermatologicznych [Sharma i in. 2023].

Łuszczyca

Łuszczyca jest przewlekłą chorobą skóry o podłożu immunologicznym z przewlekłym stanem zapalnym, z nieprawidłowym różnicowaniem keratynocytów skóry i nieograniczoną proliferacją [Puig i in. 2022, Kamel i in. 2024]. Głęboka penetracja komórek zapalnych przez skórę powoduje powstawanie grubych łusek i swędzących suchych plam [Burlec i in. 2024, Kamel i in. 2024].

W badaniach klinicznych udokumentowano przeciwłuszczycową skuteczność sylimaryny [Khan i in. 2013, Dorjay i in. 2018, Raut i Wairkar 2018, Gaikwad i in. 2022]. Sylimaryna w modelu zwierzęcym regulowała ekspresję proliferacji i apoptozy miR-21-5p – jednego z najpowszechniejszych onkogennych mikroRNA – poprzez szlak sygnałowy TGF- β 1 (ang. *transforming growth factor β 1*, transformujący czynnik wzrostu beta 1). Blokowała progresję cyklu komórkowego i różnicowanie keratynocytów poprzez ekspresję genu białka receptorowego Notch3 oraz stymulowała syntezę lipidów poprzez aktywację sygnalizacji PPAR γ (ang. *peroxisome proliferator-activated receptor gamma*, receptor aktywowany przez proliferator peroksysomów PPAR γ gamma). Hamując reakcję zapalną, poprzez blokowanie aktywności jądrowego czynnika transkrypcyjnego NF kappa B (ang. *nuclear factor kappa B*, NF- κ B), łagodziła nasilenie zmian łuszczycowych [Henriet i in. 2023].

Taksyfolina w leczeniu łuszczycy hamowała syntezę leukotrienów i fosfodiesterazy cAMP oraz indukowaną nieprawidłową proliferację keratynocytów ludzkich

i łuszczycę u myszy BALB/c. Ponadto zmniejszała stosunek komórek Th1 i Th17 w zmianach skórnych oraz regulowała różnicowanie komórek Th poprzez hamowanie czynników transkrypcyjnych: T-bet, GATA-3 i ROR γ t oraz szlaki sygnałowe Notch1 i Jak2/Stat3 (ang. *Janus Kinase 2*, kinaza Janusowa 2; ang. *signal transducer and activator of transcription*, przekaźnik sygnału i aktywator transkrypcji), w konsekwencji ograniczając stan zapalny [Yuan i in. 2020, Dabholkar i in. 2021]. Dowiedziono również, że sylibina może stanowić obiecujący składnik preparatów dermatologicznych i kosmetycznych [Dabholkar i in. 2021].

Wykazano, że sylimaryna hamowała fosfodiesterazę cAMP i syntezę leukotrienów, przez co wpływała na poprawę stanu łuszczycy, ponieważ wzrost poziomu cAMP i leukotrienów jest charakterystyczny dla tej choroby [Ghosh i in. 2010]. W innych badaniach sylimaryna zastosowana miejscowo w postaci stabilnego żelu zmniejszała grubość blaszek łuszczycowych i poziomy czynników prozapalnych: IL-6, TNF- α (ang. *tumor necrosis factor α*) i NF- κ B, przy minimalnej parakeratozie (*in vivo*) [Momin i in. 2024]. Sylimaryna łagodziła objawy łuszczycy, między innymi hiperprolifrację i niewłaściwe różnicowanie keratynocytów naskórka. Działała przeciwzapalnie z widoczną supresją NF- κ B/IL-23/IL-17A oraz przeciwutleniająco przez zwiększenie glutationu i hemooksydazy-1. Sylimaryna może być wykorzystana we wspomagającej terapii łuszczycy, ponieważ hamuje aktywność jądrowego czynnika transkrypcyjnego pochodzenia erytroidalnego typu 2 (ang. *nuclear factor erythroid 2-related factor 2*, NRF2) oraz kaskadę PI3K/AKT/mTOR (ang. *phosphatidil-inositol 3-kinases* (PI3K), kinaza fosfatydilinozytolu; ang. *protein kinase B* (PKB), kinaza białkowa (AKT); ang. *mammalian target of rapamycin*, ssaczy cel rapamacyny (mTOR)) [Kamel i in. 2024]. W badaniach linii komórkowej Balb/c 3T3, ludzkich keratynocytów naskórka i fibroblastów skóry właściwej sylimaryna nie wykazywała fototoksyczności [Dabholkar i in. 2021].

Melasma

Melasma jest częstym zaburzeniem wynikającym z przebarwień skóry, stwierdzanym u ludzi na całym świecie [AlSalem i Alexis 2023]. Charakteryzuje się przebarwieniem skóry i negatywnym wpływem na stan psychiczny dotkniętych nią pacjentów.

w patogenezie tej choroby ważną rolę odgrywa stres oksydacyjny, wywołany promieniowaniem ultrafioletowym [Nofal i in. 2019].

Stres oksydacyjny w melasme wyzwała kaskady zapalne i melanogenezę. Przeciwutleniacze mogą stanowić jeden ze sposobów terapeutycznych w tej jednostce chorobowej. Z wyników badania przeprowadzonego przez Speeckaerta i in. [2023] wynika, że sylimaryna, witamina C i niacynamid redukują pigmentację i hamują tyrozynazę u osób z melasmą. W innym badaniu, po 3-miesięcznym miejscowym stosowaniu sylimaryny (0,7%) w jednej grupie pacjentów i kremu hydrochinonu (4%) w drugiej dowiedziono, że sylimaryna ma porównywalną z hydrochinonem skuteczność w leczeniu melasmy i mniejszą liczbę działań niepożądanych [Abdullah i in. 2022B]. Także miejscowo zastosowany na skórę pacjentów z melasmą krem z sylimaryną, w dwóch dawkach 7 mg/ml i 14 mg/ml (2 × dziennie przez 4 tygodnie) zmniejszał wielkość zmian lub całkowicie niwelował objawy, przy czym nie zaobserwowano żadnych działań niepożądanych [Dorjay i in. 2018].

Według wyników innych badań krem zawierający sylimarynę znacznie redukował objawy kliniczne, zapobiegał fotokarcynogenezie i wytwarzaniu melaniny [Altaei 2012]. Ponadto sylimaryna poprawiała pigmentację skóry i działała ochronnie przed promieniowaniem UV, szczególnie w przypadku mieszanej skóry w różnych fototypach [Elfar i El-Maghraby 2015]. Sylimaryna może stanowić skuteczny i bezpieczny składnik preparatów farmaceutycznych i kosmetycznych zalecanych w terapii melasmy [Altaei 2012, Elfar i El-Maghraby 2025].

Perspektywa badań w przyszłości

Niezbędne są dalsze badania wyjaśniające mechanizm działania sylimaryny w procesach przeciwzapalnych, immunomodulacyjnych i chemoprotekcyjnych, a także w różnych zaburzeniach dermatologicznych. Prozdrowotne biologicznie właściwości aktywnych związków sylimaryny należy powiązać z wynikami badań klinicznych, ponieważ skuteczność poszczególnych fitozwiązków i mechanizmy ich działania są różne, szczególnie w stymulowaniu ścieżek przeciwzapalnych i proliferacji melanocytów. Sylimaryna jako opcja terapeutyczna stosowana

w melasmie i łuszczycy wymaga badań w zakresie skuteczności, stabilności, bezpieczeństwa i przeciwwskazań.

Wnioski

1. Biologicznie aktywne związki sylimaryny w terapii łuszczycy hamują odpowiednie czynniki transkrypcyjne i szlaki metaboliczne, zmniejszając stan zapalny oraz łagodząc hiperproliferyzację i niewłaściwe różnicowanie keratynocytów naskórka.
2. Sylimaryna w terapii melasmy zwiększa aktywność melanocytów i korzystnie wpływa na redukcję pigmentacji.
3. Aktywne związki sylimaryny o wielokierunkowym działaniu prozdrowotnym mogą stanowić skuteczną metodę terapeutyczną melasmy i łuszczycy.
4. Nowe receptury farmaceutyczne zawierające sylimarynę mogą być wykorzystane w innowacyjnej fitoterapii zaburzeń dermatologicznych.

Bibliografia

Abbasirad F., Shaygannejad V., Hosseininassab F., Mirmosayyeb O., Mahaki B., Moayed B., Esmaeil N., 2021. Significant immunomodulatory and hepatoprotective impacts of silymarin in MS patients: a double-blind placebo-controlled clinical trial. *Int. Immunopharmacol.* 97, 107715, <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2021.107715>

Abbaszadeh S., Andevary A.N., Koochpayeh A., Naghdi N., Alizadeh M., Beyranvand F., Harsej Z., 2018. Folklore medicinal plants used in liver disease: a review. *Int. J. Green Pharmacy* 12(3), 463–472.

Abdullah A.S., El Sayed I.E.T., El-Torgoman A.M., Alghamdi N.A., Ullah S., Wage S., Kamel M.A., 2021. Preparation and characterization of silymarin-conjugated gold nanoparticles with enhanced anti-fibrotic therapeutic effects against hepatic fibrosis in rats: role of microRNAs as molecular targets. *Biomedicines* 9(12), 1767, <https://doi.org/10.3390/biomedicines9121767>

Abdullah A.S., Sayed I., El-Torgoman, A.M., Kalam A., Wageh S., Kamel, M.A., 2022A. Green synthesis of silymarin–chitosan nanoparticles as a new nano

formulation with enhanced anti-fibrotic effects against liver fibrosis. *Int. J. Mol. Sci.* 23(10), 5420, <https://doi.org/10.3390/ijms23105420>

Abdullah S., Ahmed M., Khan M.A., Iqbal T., Sharif S., Rehman F., 2022B. Comparison of topical silymarin with hydroquinone in the treatment of melasma. *J. Rawal. Med. Coll.* 26(1), 90–95, <https://doi.org/10.37939/jrmc.v26i1.1778>

Aghemo A., Alekseeva O.P., Angelico F., Bakulin I.G., Bakulina N.V., Bordin D., Bueverov A.O., Drapkina O.M., Gillessen A., Kagarmanova E.M., Korochanskaya N.V., Kucheryavii U.A., Lazebnik L.B., Livzan M.A., Maev I.V., Martynov A.I., Osipenko M.F., Sas E.I., Starodubova A., Uspensky Y.P., Vinnitskaya E.V., Yakovenko E.P., Yakovlev A.A., 2022. Role of silymarin as antioxidant in clinical management of chronic liver diseases: a narrative review. *Ann. Med.* 54(1), 1548–1560, <https://doi.org/10.1080/07853890.2022.2069854>

AlSalem S., Alexis A., 2023. Melasma hyperpigmentation: an overview of current topical therapeutics. *Dermatol. Rev.* 4(1), 38–52, <https://doi.org/10.1002/der2.152>

Altaei T., 2012. The treatment of melasma by silymarin cream. *BMC Dermatology* 12, 18, doi:10.1186/1471-5945-12-18

Arab F.L., Yousefi F., Jaafari M.R., Rajabian A., Dana H., Tabasi N., Behboodifar S., Faridzadeh A., Mahmoudi M., 2024. Evaluation of the immune-modulatory, anti-oxidant, proliferative, and anti-apoptotic effects of nano-silymarin on mesenchymal stem cells isolated from multiple sclerosis patients' adipose tissue sources. *J. Funct. Foods* 113, 105958, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105958>

Atallah D.A.A., Badran A.Y., Makhlof A.G., Mekawy M.M., 2024. Topical silymarin cream as a novel therapy versus salicylic acid peels in acne vulgaris: a split-face clinical trial. *J. Cutan. Med. Surg.* 28(1), 22–28, <https://doi.org/10.1177/12034754231211568>

Bijak M., 2017. Silybin, a major bioactive component of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.) chemistry, bioavailability, and metabolism. *Molecules* 22(11), 1942, <https://doi.org/10.3390/molecules22111942>

- Burlec A.F., Hăncianu M., Ivănescu B., Macovei I., Corciovă A., 2024. Exploring the therapeutic potential of natural compounds in psoriasis and their inclusion in nanotechnological systems. *Antioxidants* 13(8), 912, <https://doi.org/10.3390/antiox13080912>
- Chambers C.S., Holečková V., Petrásková L., Biedermann D., Valentová K., Buchta M., Křen V., 2017. The silymarin composition and why does it matter???. *Food Res. Intern.* 100, 339–353, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.017>
- Dabholkar N., Rapalli V.K., Singhvi G., 2021. Potential herbal constituents for psoriasis treatment as protective and effective therapy. *Phytother. Res.* 35(5), 2429–2444, <https://doi.org/10.1002/ptr.6973>
- Dorjay K., Arif T., Adil M., 2018. Silymarin: an interesting modality in dermatological therapeutics. *Indian J. Dermatol. Venereol. Leprol.* 84(2), 238–243, https://doi:10.4103/ijdv.IJDVL_746_16
- Elfar N.N., El-Maghraby G.M., 2015. Efficacy of intradermal injection of tranexamic acid, topical silymarin and glycolic acid peeling in treatment of melasma: a comparative study. *J. Clin. Exp. Dermatol. Res.* 6, 3, <https://doi:10.4172/2155-9554.1000280>
- Emadi S.A., Rahbardar M.G., Mehri S., Hosseinzadeh H., 2022. a review of therapeutic potentials of milk thistle (*Silybum marianum* L.) and its main constituent, silymarin, on cancer, and their related patents. *Iran. J. Basic Med. Sci.* 25(10), 1166, <https://doi:10.22038/IJBMS.2022.63200.13961>
- Gaikwad R.G., Shinde A.J., Hajare A.A., 2022. Herbal treatment for management of psoriasis: an overview. *Res. J. Pharm. Technol.* 15(3), 1385–1392, <https://doi:10.52711/0974-360X.2022.00231>
- Ghosh A., Ghosh T., Jain S., 2010. Silymarin-a review on the pharmacodynamics and bioavailability enhancement approaches. *PDA J. Pharm. Sci. Technol.* 2(10), 348–355,

Henriet E., Abdallah F., Laurent Y., Guimpied C., Clement E., Simon M., Pichon C., Baril P., 2023. Targeting TGF- β 1/miR-21 pathway in keratinocytes reveals protective effects of silymarin on imiquimod-induced psoriasis mouse model. JID Innovations 3(3), 100175, <https://doi.org/10.1016/j.xjidi.2022.100175>

Hussain K., Hussnain S.Z., Shahazad A., 2010. Distributions and folk tibb knowledge of milk thistle (*Silybum marianum* L.) in NWFP, Pakistan. Ethnobot. Leaflets 14, 268–73.

Kamel N.M., El-Sayed S.S., El-Said Y., El-Kersh D.M., Hashem M.M., Mohamed S.S., 2024. Unlocking milk thistle's anti-psoriatic potential in mice: targeting PI3K/AKT/mTOR and KEAP1/NRF2/NF- κ B pathways to modulate inflammation and oxidative stress. Int. Immunopharmacol. 139, 112781, <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2024.112781>

Katiyar S., Tripathi A.D., Singh R.K., Chaurasia A.K., Srivastava P.K., Mishra A., 2024. Graphene-silymarin-loaded chitosan/gelatin/hyaluronic acid hybrid constructs for advanced full-thickness burn wound management. Int. J. Pharm. 659, 124238, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2024.124238>

Katiyar S.K., 2005. Silymarin and skin cancer prevention: anti-inflammatory, antioxidant and immunomodulatory effects. Int. J. Oncol. 26(1), 169–176, <https://doi.org/10.3892/ijo.26.1.169>

Khan P.A., Thube R., Rab R.A., 2013. Formulation development and evaluation of silymarin gel for psoriasis treatment. J. Innov. Pharm. Biol. Sci. 1(1), 021–026.

Marmouzi I., Bouyahya A., Ezzat S.M., El Jemli M., Kharbach, M., 2021. The food plant *Silybum marianum* (L.) Gaertn.: phytochemistry, ethnopharmacology and clinical evidence. J. Ethnopharmacol. 265, 113303, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.113303>

Momin F., Kevlani V., Rawal S., Patel R., Acharya S., Shah S., 2024. Antipsoriatic effect of silymarin nlcs based gel: *in vitro* and *in vivo* activity. AAPS Pharm. Sci. Tech. 25(7), 195, <https://doi.org/10.1208/s12249-024-02910-x>

Mota J., Faria-Silva C., Resendes A., Santos M.I., Carvalheiro M.C., Lima A., Simões S., 2024. Silymarin inhibits dermal gelatinolytic activity and reduces cutaneous inflammation. *Nat. Prod. Res.* 1–12, <https://doi.org/10.1080/14786419.2024.2347452>

Nofal A., Ibrahim A.S.M., Nofal E., Gamal N., Osman S., 2019. Topical silymarin versus hydroquinone in the treatment of melasma: a comparative study. *J. Cosmet. Dermatol.* 18(1), 263–270, <https://doi.org/10.1111/jocd.12769>

Puig L., Costanzo A., Muñoz-Elías E.J., Jazra M., Wegner S., Paul C.F., Conrad C., 2022. The biological basis of disease recurrence in psoriasis: a historical perspective and current models. *Br. J. Dermatol.* 186(5), 773–781, <https://doi.org/10.1111/bjd.20963>

Radhika M.I., Ezhilarasan D., Gopinath P., 2017. Antimicrobial efficacy of silymarin and silibinin against oral microorganisms. *J. Microbiol Infect. Dis.* 7(03), 139–143.

Rahimi D., Sharifi R., Jaberie H., Naghibalhossaini F., 2024. Antiproliferative and antitelomerase effects of silymarin on human colorectal and hepatocellular carcinoma cells. *Planta Med.* 90(04), 298–304, <https://doi.org/10.1055/a-2244-8788>

Rajnochová-Svobodová A., Gabrielová E., Michaelides L., Kosina P., Ryšava A., Ulrichová J., Zálešák B., Vostálova J., 2018. UVA-photoprotective potential of silymarin and silybin. *Arch. Dermatol. Res.* 310, 413–424, <https://doi.org/10.1007/s00403-018-1828-6>

Raut G., Wairkar S., 2018. Management of psoriasis with nutraceuticals: an update. *Complement. Ther. Clin. Pract.* 31, 25–30, <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2018.01.007>

Sharma S., Kumar P., Ashawat M.S., Pandit V., Verma C.S., Sharma D.K., 2023. Silymarin: a phytoconstituent with significant therapeutic potential-a narrative review. *Curr. Drug Ther.* 18(2), 89–97, <https://doi.org/10.2174/1574885518666221227100052>

Šimánek V., Kren V., Ulrichová J., Vicar J., Cvak, L., 2000. Silymarin: what is in the name? An appeal for a change of editorial policy. *Hepatology* 32(2), 442–444.

Speeckaert R., Bulat V., Speeckaert M.M., van Geel N., 2023. The impact of antioxidants on vitiligo and melasma: a scoping review and meta-analysis. *Antioxidants* 12(12), 2082, <https://doi.org/10.3390/antiox12122082>

Surai P.F., Surai A., Earle-Payne K., 2024. Silymarin and inflammation: food for thoughts. *Antioxidants* 13(1), 98, <https://doi.org/10.3390/antiox13010098>

Surai P.F., Surai A., 2023. Anti-diabetic properties of silymarin. W: *Silymarin puzzle. From basic science to practical applications in human and veterinary medicine and nutrition*. Surai P.F., Surai A. (red.), 14, 409–426, https://doi.org/10.3920/9789004500389_014

Tvrđý V., Pourová J., Jirkovský E., Křen V., Valentová K., Mladěnka P., 2021. Systematic review of pharmacokinetics and potential pharmacokinetic interactions of flavonolignans from silymarin. *Med. Res. Rev.* 41(4), 2195–2246, <https://doi.org/10.1002/med.21791>

Wang Y., Yuan A.J., Wu, Y.J., Wu L.M., Zhang L., 2023. Silymarin in cancer therapy: Mechanisms of action, protective roles in chemotherapy-induced toxicity, and nanoformulations. *J. Funct. Foods* 100, 105384, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105384>

Wianowska D., Wiśniewski M., 2015. Simplified procedure of silymarin extraction from *Silybum marianum* L. Gaertner. *J. Chromatogr. Sci.* 53(2), 366–372, <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmu049>

Yuan X., Li N., Zhang M., Lu C., Du Z., Zhu W., Wu D., 2020. Taxifolin attenuates IMQ-induced murine psoriasis-like dermatitis by regulating T helper cell responses via Notch1 and JAK2/STAT3 signal pathways. *Biomed. Pharmacother.* 123, 109747, <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2019.109747>

Zhao Y., Zhou Y., Gong T., Liu Z., Yang W., Xiong Y., Xiao D., Cifuentes A., Ibañez E., Lu W., 2024. The clinical anti-inflammatory effects and underlying mechanisms of silymarin. *iScience* 27(11), 111109, <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111109>

Abstract

Silybum marianum (L.) Gaertner has been used in folk medicine as various raw materials: *Silybi mariani fructus*, *Silybi mariani semen*, and *Silybi mariani herba* in the therapy of many diseases. Silymarin is extracted from *Silybi mariani fructus*. The aim of the study was to determine the properties of silymarin to be used in the phytotherapy of psoriasis and skin discoloration (melasma, melanoderma) based on a review of the current knowledge. Silymarin applied in the therapy of psoriasis reduces inflammation as well as hyperproliferation and improper differentiation of epidermal keratinocytes and activates a transcription factor (nuclear factor erythroid 2-related factor 2, NRF2). In the treatment of melasma, silymarin combined with reactive oxygen species increases the activity of melanocytes and reduces skin pigmentation in the process of melanogenesis. Silymarin may be an effective ingredient of novel pharmaceutical and cosmetic formulations that could be used in treatment of dermatological problems. Further studies are necessary to elucidate the mechanism of action of silymarin in antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory processes in various dermatological disorders. However, the use of silymarin in phytotherapy requires clinical studies on its efficacy, stability, safety, and contraindications.

Key words: *Silybi mariani fructus*, milk thistle, psoriasis, melasma, phytotherapy, phytocompound, biologically active compounds

Chitozan jako wielofunkcyjny składnik preparatów kosmetycznych oraz kosmeceutycznych

Chitosan as a multi-purpose ingredient in cosmetic and cosmeceutical preparations

Barbara Hawrylak-Nowak  <https://orcid.org/0000-0002-2935-1491>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin

Maria Stasińska-Jakubas  <https://orcid.org/0000-0002-3251-0182>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin
e-mail: maria.jakubas@up.lublin.pl

Streszczenie

Zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz tzw. zielonej chemii zastosowanie składników pochodzenia naturalnego w przemyśle kosmetycznym i farmaceutycznym jest celowym i efektywnym rozwiązaniem. Najbardziej pożądane są związki nietoksyczne, biodegradowalne i biokompatybilne. Powyższe kryteria spełnia chityna i jej deacetylowana pochodna – chitozan, który charakteryzuje się unikalnymi właściwościami biologicznymi oraz technologicznymi. Głównym źródłem pozyskiwania chityny i chitozanu są pancerze skorupiaków, ściany komórkowe grzybów czy też ciała owadów.

W niniejszym przeglądzie przedstawiono funkcje chitozanu jako składnika aktywnego różnorodnych produktów kosmetycznych oraz kosmeceutycznych, przeznaczonych

do pielęgnacji skóry i włosów, jako środka do higieny jamy ustnej oraz jako nośnika związków aktywnych. Podkreślono znaczenie właściwości fizykochemicznych tego polimeru, w tym masy cząsteczkowej, pH oraz stopnia deacetylacji, w odniesieniu do poszczególnych zastosowań pielęgnacyjnych. Parametry te są kluczowe dla stopnia pęcznienia, lepkości i rozpuszczalności chitozanu, a w konsekwencji jego działania przeciwdrobnoustrojowego, przeciwutleniającego oraz możliwości zastosowania w poszczególnych formułacjach kosmetycznych.

Niniejszy przegląd ma na celu przedstawienie obecnych perspektyw związanych z właściwościami oraz potencjalnym zastosowaniem chitozanu w formułacjach preparatów o wielokierunkowych zastosowaniach kosmetycznych oraz kosmeceutycznych.

Słowa kluczowe: chitozan, pielęgnacja ciała, pochodne chityny, składniki kosmetyczne

Wstęp

Zgodnie z definicją zawartą w obecnie obowiązujących przepisach prawa, produktem kosmetycznym określa się każdą substancję lub preparat/mieszaninę przeznaczoną do kontaktu z zewnętrznymi częściami ciała ludzkiego lub zębami i błonami śluzowymi jamy ustnej, którego głównym lub wyłącznym celem jest utrzymywanie ich w czystości, perfumowanie, zmiana ich wyglądu, ochrona, utrzymywanie w dobrej kondycji lub korygowanie zapachu ciała [Ustawa z dnia 4 października 2018 r. o produktach kosmetycznych]. Kosmeceutyki stanowią stosunkowo nową kategorię produktów i do tej pory nie ustanowiono ich obowiązującej prawnie definicji [Aranaz i in. 2018]. Termin ten powstał w drugiej połowie lat 90. XX w., a jego wprowadzenie miało na celu poprawę jakości produktów kosmetycznych przy założeniu, że kosmeceutyk powinien wykazywać właściwości pielęgnacyjne kosmetyku oraz dodatkowo zawierać substancje biologicznie aktywne o leczniczym działaniu farmaceutyku [Aranaz i in. 2018, Rathod i in. 2020]. Na tej podstawie każdy produkt kosmetyczny o właściwościach leczniczych może być określany jako kosmeceutyk [Rejinold i in. 2021].

Rynek kosmetyczny jest jednym z najdynamiczniej rozwijających się sektorów światowej gospodarki, przynoszącym dochody w wysokości setek miliardów dolarów rocznie [Mondello i in. 2024]. Wraz z jego szybkim rozwojem pojawiła się presja opracowywania zrównoważonych innowacji, które umożliwiłyby sprostanie rosnącym wymaganiom konsumentów, przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu na środowisko. Działania te są dodatkowo egzekwowane przez międzynarodowe przepisy związane z tzw. zieloną chemią i zrównoważonym rozwojem, ale też motywowane wzrostem świadomości ekologicznej społeczeństwa [Franca i Ueno 2020, Mondello i in. 2024, Sasounian i in. 2024]. Decyzja o dostosowaniu produkcji do obowiązujących trendów i wdrożeniu przez firmy kosmetyczne bezpiecznych dla środowiska rozwiązań jest więc również w dużej mierze kwestią ekonomiczną [Rocca i in. 2022]. Wprowadzane zmiany nie mogą jednak wpływać na jakość i skuteczność produktów, dlatego pomyślnie zastąpienie powszechnie stosowanych w recepturach substancji innymi, naturalnymi składnikami, jest obecnie jednym z największych wyzwań przemysłu kosmetycznego [Guzmán i in. 2022, Kulka i Sionkowska 2023].

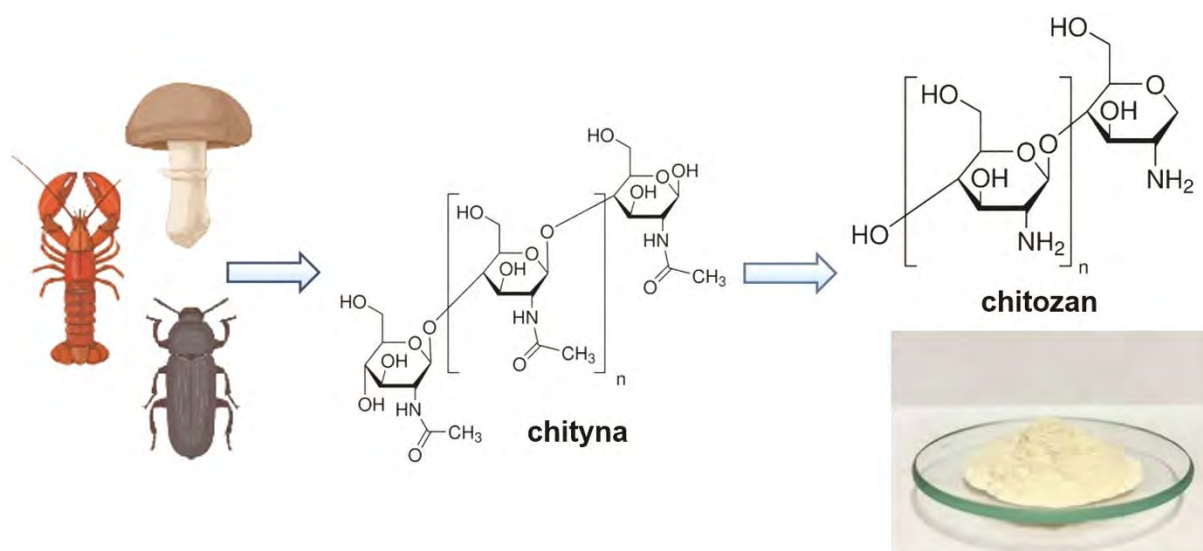
Wśród składników nadających kosmetykom pożądane cechy istotne miejsce zajmują polimery – znajdują one zastosowanie w roli emulgatorów, utrwalaczy, stabilizatorów i zagęstników, ale też środków filmotwórczych, przeciwdrobnoustrojowych i pielęgnacyjnych. Ich obecność w recepturach kosmetycznych zapewnia przede wszystkim spójność produktu oraz uczucie miękkości skóry [Alves i in. 2020, Gupta i in. 2022]. Obecnie zbadano i wdrożono do zastosowań kosmetycznych szeroką gamę polimerów syntetycznych, półsyntetycznych i naturalnych. Jednak większość syntetycznych polimerów charakteryzuje się potencjalną toksycznością i nie podlega biodegradacji w środowisku [Alves i in. 2020, Confederat i in. 2021]. Z tego względu jednym z obecnie podejmowanych działań jest rezygnacja z polimerów syntetycznych i półsyntetycznych na rzecz przyjaznych dla środowiska oraz konsumentów polimerów naturalnych, wśród których szczególne miejsce zajmują polisacharydy. Chityna jest drugim najbardziej rozpowszechnionym w przyrodzie polisacharydem, pełniącym funkcję analogiczną do kolagenu u zwierząt i celulozy u roślin [Aranaz i in. 2018, Gupta i in. 2022, Guzmán i in. 2022]. Z kolei chitozan jest pochodną chityny otrzymywaną na drodze częściowej – chemicznej lub enzymatycznej – N-deacetylacji [Rehman i in. 2023].

Charakterystyka i właściwości chitozanu

Chitozan – poli-(1,4)-2-amino-2-deoksy- β -D-glukan lub poli-(2-deoksy-2-aminoglukoza) – jest polisacharydowym biopolimerem o naturze zasadowej. Głównym jego źródłem do zastosowań komercyjnych są pancerze skorupiaków – krewetek, krabów, homarów i kryli, które stanowią około 40% pozostałości przetwórstwa morskiego. Ich wykorzystanie umożliwia zatem jednoczesną utylizację około 100 000 ton odpadów poprodukcyjnych rocznie, ściśle uzależnia jednak produkcję chitozanu od przemysłu morskiego i sezonowej dostępności surowca [Rehman i in. 2023, Ali i in. 2024]. Dodatkowo, ze względu na potencjalną alergenność, chitozan pochodzenia zwierzęcego może nie nadawać się do wszystkich zastosowań kosmetycznych [Guzmán i in. 2022]. Z tego względu podejmuje się próby izolowania chityny i chitozanu ze ścian komórkowych grzybów, które stanowią drugie największe oraz wegańskie źródło tych polisacharydów [Stasińska-Jakubas i Hawrylak-Nowak 2022]. Polimery pochodzenia grzybowego, w przeciwieństwie do tych izolowanych ze skorupiaków, nie zawierają białek, które mogą wywoływać reakcje alergiczne [Abd El-Hack i in. 2020]. W ostatnim czasie alternatywnym i zrównoważonym surowcem do produkcji chityny stały się także kutykule stawonogów [Rehman i in. 2023], w tym również odpady poprodukcyjne owadów jadalnych [da Silva Lucas i in. 2021] oraz owadów do zastosowań paszowych [Triunfo i in. 2022]. Chitozan jest więc łatwo dostępny, a jego produkcja stosunkowo prosta i opłacalna [Confederat i in. 2021]. Pomimo powszechności występowania, rodzaj surowca do pozyskiwania chitozanu nie jest obojętny – doniesienia literaturowe wskazują, że zarówno źródło polimeru, jak i proces jego ekstrakcji wywierają bezpośredni wpływ na właściwości fizykochemiczne i biologiczne produktu końcowego [El-Araby 2024].

Pod względem budowy chemicznej zarówno chityna, jak i jej deacetylowana pochodna, są liniowymi kopolimerami, zbudowanymi z dwóch – połączonych ze sobą wiązaniami β -1,4-glikozydowymi – jednostek strukturalnych: N-acetylo-D-glukozaminy i D-glukozaminy (ryc. 1). Odróżnia je stopień deacetylacji, wyrażany procentowo lub jako stosunek jednostek D-glukozaminy do całkowitej liczby jednostek w polimerze, odgrywający istotną rolę w równowadze pomiędzy

oddziaływaniami hydrofilowymi i hydrofobowymi. Produkt, którego stopień deacetylacji przekracza 50%, określa się mianem chitozanu [Confederat i in. 2021, Valachová i Šoltés 2021, Kulka i Sionkowska 2023]. Dodatkowym kryterium umożliwiającym odróżnienie chityny od chitozanu jest także wynikająca ze stopnia deacetylacji rozpuszczalność – chityna jest związkiem nierozpuszczalnym; chitozan natomiast rozpuszcza się w roztworach o odczynie kwaśnym [Stasińska-Jakubas i Hawrylak-Nowak 2022]. W środowisku alkalicznym powstaje wiele wiązań wodorowych między grupami aminowymi i hydroksylowymi, co uniemożliwia rozpuszczalność chitozanu. Jednak wraz ze spadkiem pH następuje protonowanie grup aminowych, powodując odpychanie elektrostatyczne i w konsekwencji pęcznienie polimeru. Chitozan w środowisku kwaśnym wyróżnia się więc na tle innych biopolimerów unikatowym, kationowym charakterem [Matica i in. 2019, El-Araby 2024]. Dzięki temu może oddziaływać z ujemnie naładowanymi substratami, co warunkuje jego działanie przeciwdrobnoustrojowe i filmotwórcze [Nasaj i in. 2024]. Obecność wolnych grup aminowych i hydroksylowych umożliwia także stosunkowo łatwe poddawanie struktury chitozanu chemicznym i fizycznym modyfikacjom, a tym samym jego dostosowywanie do określonych zastosowań [Confederat i in. 2021].



Ryc. 1. Struktura chemiczna chityny i chitozanu oraz postać fizyczna chitozanu

Oprócz wymienionych wyżej właściwości chitozan ma także wiele innych, unikalnych cech. Dzięki biodegradowalności i biogodności jest bezpieczny dla środowiska, wpisując się w obowiązujące wymogi i trendy proekologiczne [Kulka i Sionkowska 2023]. Ponadto wykazuje właściwości hydrofilowe, zdolność do adsorpcji, chelatowania jonów metali i tworzenia filmów [Stasińska-Jakubas i Hawrylak-Nowak 2022]. W przemyśle kosmetycznym szczególnie ceniona jest ostatnia cecha, dzięki której chitozan może być wykorzystywany jako składnik o właściwościach nawilżających i ochronnych, ale także jako baza receptur kosmetycznych lub nośnik substancji bioaktywnych. Jego rosnąca popularność wynika również z szerokiej aktywności biologicznej, szczególnie antyoksydacyjnej i przeciwdrobnoustrojowej, ale też właściwości przeciwzapalnych i regeneracyjnych [Guzmán i in. 2022]. Jednak zastosowanie tego biopolimeru w przemyśle kosmetycznym stanowi stosunkowo nowe zagadnienie [Kulka i Sionkowska 2023]. Głównym ograniczeniem jest jego rozpuszczalność. Dla dalszego sukcesu komercyjnego chitozanu kluczowe jest więc zrozumienie zależności pomiędzy właściwościami fizykochemicznymi a funkcyjnymi. Do najważniejszych cech determinujących właściwości chitozanu należą stopień deacetylacji, pH oraz masa cząsteczkowa – parametry te znacząco wpływają na jego stopień pęcznienia, lepkość i rozpuszczalność, a tym samym działanie przeciwdrobnoustrojowe i przeciwutleniające oraz biodegradowalność i biokompatybilność [Abd El-Hack i in. 2020, Ke i in. 2021]. Przykładowo wysoki stopień deacetylacji oraz niska masa cząsteczkowa wpływają korzystnie na właściwości antyoksydacyjne chitozanu [Casadidio i in. 2019], natomiast niższy stopień deacetylacji zmniejsza jego interakcję z warstwą rogową naskórka ze względu na niższą gęstość ładunku [Cerqueira-Coutinho i in. 2015]. Z kolei pH determinuje jego aktywność przeciwdrobnoustrojową, która wzrasta w środowisku kwaśnym [Nasaj i in. 2024].

Połączenie korzystnych cech fizykochemicznych oraz biologicznych chitozanu sprawia, że w przemyśle kosmetycznym może on pełnić rolę zarówno substancji aktywnej, jak i jej nośnika [Ferreira i in. 2022]. W związku z tym znajduje potencjalne zastosowanie w niemal każdym rodzaju kosmetyków i kosmeceutyków jako składnik kremów, płynów, żeli, toników, emulsji, masek, tuszów, odżywek, sztyftów czy aerozoli [Guzmán i in. 2022, Kulka i Sionkowska 2023]. Ze względu na zdolność

wiązania wody nie tylko modyfikuje konsystencję produktów, ale pełni także funkcję humektantu w produktach nawilżających skórę i włosy oraz zapobiegających utracie wody [Aranaz i in. 2018]. W tym zakresie znajdują zastosowanie szczególnie hydrożele chitozanowe przeznaczone do miejscowego stosowania na skórę [Rejinold i in. 2021]. Chitozan jako związek o działaniu przeciwbakteryjnym, przeciwwirusowym i fungistatycznym może być stosowany w produktach kosmetycznych zarówno samodzielnie, jak i w połączeniu z innymi polimerami [Ke i in. 2021]. Ze względu na szerokie spektrum działania charakteryzuje się niższą toksycznością oraz wyższą skutecznością niż inne środki przeciwdrobnoustrojowe o podobnym charakterze. W recepturach kosmetycznych odgrywa więc dodatkową rolę konserwantu zapobiegającego skażeniom mikrobiologicznym [Abd El-Hack 2020] oraz składnika preparatów do pielęgnacji cery trądzikowej i problematycznej, higieny jamy ustnej oraz dezodorantów i antyperspirantów [Kulka i Sionkowska 2023].

Chitozan w produktach do pielęgnacji skóry

Korzystne cechy fizykochemiczne oraz biologiczne warunkują wszechstronne wykorzystanie chitozanu w kosmetykach do pielęgnacji skóry. Działanie antyoksydacyjne, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwzapalne, nawilżające i ochronne (filmotwórcze) to główne cechy, które czynią go popularnym składnikiem produktów nawilżających i przeciwstarzeniowych oraz oczyszczających i wspierających podstawowe funkcje skóry [Afonso i in. 2019, Casadidio 2019]. Chitozan w produktach kosmetycznych pełni często rolę humektantu – ze względu na kationowy charakter tworzy na powierzchni skóry niewidoczną, elastyczną barierę ochronną oraz umożliwia adsorpcję składników aktywnych, zwiększając zawartość wody w warstwie rogowej naskórka [Mitura i in. 2020, Guzmán i in. 2022]. Z tego powodu jego zastosowanie w preparatach przeciwzmarszczkowych budzi szczególne zainteresowanie, ponieważ przeciwdziałanie starzeniu skóry jest ściśle związane z zapobieganiem utracie wody [Piekarska i in. 2023]. Stwierdzono, że pod względem właściwości nawilżających chitozan jest skuteczniejszy od kwasu hialuronowego [Bakshi i in. 2020]. Substancje te mogą być jednak stosowane w połączeniu w celu wzmocnienia właściwości przeciwzmarszczkowych [Dubey i in.

2022]. Właściwości adsorpcyjne wykorzystywane są także w pielęgnacji skóry tłustej i łojotokowej – chitozan może skutecznie wiązać lipidy na powierzchni skóry, przyczyniając się do redukcji wydzielania sebum [Theerawattanawit i in. 2022].

Chitozan wykazuje także ceniony w przemyśle kosmetycznym potencjał fotoprotekcyjny. Promieniowanie ultrafioletowe (UV) jest jednym z najbardziej szkodliwych czynników wpływających na skórę [Mohamad i in. 2021]. Przyspiesza procesy starzenia, powodując suchość, wiotkość skóry, powstawanie zmarszczek i nieregularną pigmentację, ale przede wszystkim zwiększa ryzyko powstawania nowotworów skóry [Casadidio 2019, Ferreira i in. 2022]. Stosowanie odpowiedniej fotoprotekcji jest więc istotną kwestią zachowania zdrowia. Widmo absorpcji chitozanu poniżej 400 nm sprawia, że może on pochłaniać promieniowanie w zakresie UVA i UVB, którego długość wynosi odpowiednio 320–400 nm i 290–320 nm [Guzmán i in. 2022, Kulka i Sionkowska 2023]. Jednak wskaźnik ochrony przeciwsłonecznej SPF (ang. *sun protection factor*) chitozanu jest stosunkowo niski (poniżej 5) – z tego powodu z reguły nie znajduje on zastosowania jako samodzielny filtr UV [Siahaan i in. 2022]. Jego rola w formulacjach kosmetycznych ogranicza się więc do zwiększania skuteczności innych składników fotoprotekcyjnych oraz uzupełniającej aktywności antyoksydacyjnej i przeciwstarzeniowej [Aranaz i in. 2018]. Ponadto obecność chitozanu w kosmetykach przeciwsłonecznych znacznie zwiększa ich wodoodporność [Bakshi i in. 2020]. Z drugiej strony sugeruje się, że zastosowanie chitozanu w połączeniu z innymi składnikami może być skuteczne w opracowywaniu bezpiecznych formuł kosmetycznych o umiarkowanej ochronie przeciwsłonecznej (SPF $\approx$ 20) [Cerqueira-Coutinho i in. 2015, Petrick i in. 2020]. W badaniach Cerqueira-Coutinho i in. [2015] wykazano, że nanoemulsja zawierająca chitozan i ekstrakty roślinne może być bezpiecznym i fotostabilnym preparatem przeciwsłonecznym o właściwościach antyoksydacyjnych. Dodatkowo, hamując syntezę melaniny, zmniejsza hiperpigmentację skóry, wykazując skuteczność także w redukcji zmarszczek, przebarwień i trądziku [Ferreira i in. 2022]. Opracowano także wielofunkcyjny krem przeciwsłoneczny na bazie nanokompozytu chitozanu i tlenku tytanu, wykazujący również efekt przeciwbakteryjny i przeciwtrądzikowy [Petrick i in. 2020]. Z kolei badania prowadzone przez Morsy i in. [2017] wykazały

wysoką skuteczność antybakteryjną oraz przeciwsłoneczną żelu na bazie chitozanu i hydroksypatytu.

W zastosowaniach kosmeceutycznych chitozan wymieniany jest jako środek przyspieszający obkurczanie i gojenie ran oraz uszkodzeń skóry, trądziku i stanów zapalnych, szczególnie w postaci hydrożeli, które działają jako bariery ochronne dla mikroorganizmów, zapewniając jednocześnie odpowiednią przepuszczalność i nawodnienie. Dodatkowo wykazują działanie hemostatyczne, przeciwzapalne i przeciwbólowe [Confederat i in. 2021, Fatullayeva i in. 2022, Ferreira i in. 2022]. Jednak również w przypadku hydrożeli chitozanowych opisane wyżej właściwości zależą od masy cząsteczkowej i stopnia deacetylacji chitozanu, co podkreślano we wcześniej opisanych zastosowaniach [Mitura i in. 2020].

Cenioną kategorią wśród preparatów kosmetycznych są maseczki do twarzy, które stanowią doskonałe uzupełnienie rutynowej pielęgnacji skóry – są łatwe w aplikacji i wykazują natychmiastowy efekt działania na skórze [Gaspar i in. 2022]. Ze względu na wymienione wyżej właściwości filmotwórcze, nawilżające i antyoksydacyjne chitozan może stanowić bazę lub składnik naturalnych masek przeciwstarzeniowych [Afonso i in. 2019]. Opracowano biofilmy chitozanowe zawierające olejek eteryczny z trawy cytrynowej, które mogą znajdować zastosowanie jako naturalne maski o właściwościach antyoksydacyjnych i przeciwdrobnoustrojowych [Gaspar i in. 2022]. Właściwości przeciwdrobnoustrojowe chitozanu wykorzystywane są w preparatach dezodorujących, ponieważ hamuje on aktywność bakterii produkujących enzymy odpowiedzialne za powstawanie nieprzyjemnego zapachu [Bakshi i in. 2020]. Chitozan i jego pochodne mogą znajdować zastosowanie w produktach do oczyszczania skóry z zanieczyszczeń i pozostałości po kosmetykach [Tunku Mahmud i in. 2015], a także w preparatach do pielęgnacji i makijażu ust jako składnik zmiękczający i zwiększający przyczepność koloru oraz wodoodporność produktu [Bakshi i in. 2020].

Chitozan jako składnik kosmetyków do pielęgnacji włosów i paznokci

Włosy są złożonym kompleksem włókien, składającym się w 95% z keratyny [Morganti i in. 2021]. Zewnętrzna część włosa stale narażona jest na działanie szkodliwych czynników fizycznych, takich jak wysoka temperatura czy promieniowanie UV, oraz innych czynników chemicznych i mechanicznych stosowanych podczas stylizacji [Aranaz i in. 2018, Casadidio i in. 2019]. Ze względu na duże powinowactwo do keratyny chitozan tworzy na powierzchni włosów elastyczną powłokę ochronną, poprawiając ich strukturę, zwiększając ich miękkość i elastyczność, a tym samym wytrzymałość na działanie czynników zewnętrznych [Casadidio i in. 2019]. Dodatkowo, jednym z najważniejszych aspektów wykorzystania chitozanu w kosmetykach do pielęgnacji włosów są jego zdolności regeneracyjne. Jako związek o kationowym charakterze łatwo oddziałuje z naładowaną ujemnie strukturą uszkodzonych włosów, wykazując działanie kondycjonujące i nawilżające [Thambiliyagodage i in. 2023]. W badaniach Sionkowskiej i in. [2017] potwierdzono kondycjonujące działanie receptur zawierających chitozan, kwas hialuronowy i kolagen oraz poprawiające wygląd i właściwości mechaniczne włosów. Z tego względu chitozan i jego pochodne stosowane są jako składniki różnego rodzaju kosmetyków do pielęgnacji włosów, takich jak szampony, odżywki, płukanki, lakiery, a nawet farby i środki do trwałej ondulacji [Guzmán i in. 2022, Valachová i Šoltés 2021]. Ich zastosowanie w tego typu kosmetykach ma również na celu poprawę ich konsystencji i lepsze przyleganie składników aktywnych do powierzchni włosa [Kulka i Sionkowska 2023]. Dodatek chitozanu, tak jak i innych, tradycyjnie stosowanych polimerów kationowych w odżywkach do włosów ma również na celu tymczasowe zwiększenie ich podatności na stylizację [Bakshi i in. 2020]. Chitozan oraz powierzchniowo deacetylowane nanofibryle chitynowe wpływają stymulująco na wzrost włosów dzięki pozytywnemu oddziaływaniu na komórki brodawki włosa oraz produkcję czynnika wzrostu fibroblastów (FGF-7) [Azuma i in. 2019]. Składniki te mogą zatem znaleźć zastosowanie jako nowe środki terapeutyczne w leczeniu wypadania włosów. Należy jednak pamiętać, że możliwość wykorzystania potencjału chitozanu jest ściśle zależna od prawidłowego doboru jego masy cząsteczkowej i stopnia deacetylacji –

w przeciwnym razie jego efektywność nie może konkurować z popularnie stosowanymi polimerami [Hernández-Rivas i in. 2020].

Chitozan i jego pochodne znajdują również zastosowanie jako naturalne bazy oddychających lakierów i innych preparatów kosmeceutycznych przeciwko grzybicy i łamliwości paznokci. Jednym z najczęściej wymienianych w literaturze i dostępnych na rynku składników jest hydroksypropylochitozan [Piraccini i in. 2020].

W preparatach kosmeceutycznych do paznokci pełni on rolę wzmacniającą oraz zapewnia lepszą penetrację substancji aktywnych i naturalną barierę fizyczną przed czynnikami zewnętrznymi [Ghannoum i in. 2015]. Regularne stosowanie roztworu hydroksypropylochitozanu może zwiększać twardość i wytrzymałość paznokci, jednocześnie ograniczając penetrację strzępek dermatofitów, co jest istotne w leczeniu i profilaktyce infekcji grzybiczych paznokci [Ghannoum i in. 2015].

Badania Chiavetta i in. [2019] wykazały skuteczność lakieru do paznokci na bazie pochodnej chitozanu w leczeniu zespołu łamliwych paznokci. Ochronne działanie tego typu preparatu zostało potwierdzone przez Chimenti i in. [2013], a jego regularne stosowanie może być skuteczne w profilaktyce grzybicy paznokci. Ponadto wyniki badań wskazują, że zastosowanie lakieru na bazie chitozanu z 8% cyklopiroksem zwiększa przenikanie i/lub penetrację leku przez płytkę paznokcia oraz jest bardziej efektywne w porównaniu z innymi lakierami, dzięki temu stanowi cenną alternatywę w leczeniu łagodnej i umiarkowanej grzybicy paznokci [Piraccini i in. 2020].

Chitozan w preparatach do higieny jamy ustnej

Obecnie chitozan może znajdować zastosowanie we wszystkich specjalnościach stomatologicznych [Więckiewicz i in. 2017]. Do najbardziej cenionych właściwości w tej dziedzinie należą aktywność przeciwdrobnoustrojowa, przeciwzapalna, antyoksydacyjna, regeneracyjna i hemostatyczna. Jednak jego wykorzystanie w preparatach do higieny zębów i jamy ustnej wynika głównie z wysokiej skuteczności przeciwko drobnoustrojom zaangażowanym bezpośrednio w powstawanie płytki nazębnej, próchnicy, kandydozy i chorób przyzębia [Kmieć i in. 2017, Fakhri i in. 2020]. Spośród wymienionych problemów zdrowotnych głównym

problemem pozostaje próchnica zębów [Aliasghari 2016]. Wśród podstawowych strategii zapobiegania jej wystąpieniu wyróżnia się utrzymanie prawidłowego pH jamy ustnej oraz stosowanie substancji o działaniu przeciwdrobnoustrojowym. Jednak aplikowanie tradycyjnych preparatów, takich jak glukonian chlorheksydyny, pomimo wysokiej skuteczności, wiąże się z ryzykiem wystąpienia skutków ubocznych, w tym przebarwień zębów, zmiany wrażliwości języka czy odczuwania smaku [Aranaz i in. 2018]. Chitozan jest więc testowany w preparatach redukujących liczebność mikrobioty jamy ustnej, odpowiedzialnej za rozwój próchnicy i stanów zapalnych przyzębia jako bezpieczna alternatywa dla powszechnie stosowanych substancji [Piekarska i in. 2023]. Aliasghari i in. [2016] potwierdzili potencjał chitozanu i jego nanocząsteczek jako środków przeciwko próchnicotwórczym paciorkowcom: *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sobrinus*, *Streptococcus sanguis* i *Streptococcus salivarius*. Ponadto wykazano skuteczność chitozanu przeciwko *Porphyromonas gingivalis*, bakterii powodującej choroby przyzębia [Ikinci 2002]. Jego zastosowanie w połączeniu z glukonianem chlorheksydyny mogłoby poszerzyć spektrum działania tego ostatniego oraz wyeliminować jego skutki uboczne. Możliwość wykorzystania chitozanu w profilaktyce i leczeniu próchnicy oraz demineralizacji twardych tkanek zęba związana jest także ze zdolnością do obniżania kwasowości w jamie ustnej poprzez selektywne wiązanie się ze szkliwem i zapobieganiu jego rozpuszczalności [Rejinold i in. 2021, Valachová i Šoltés 2021, Gao i in. 2022]. Ma więc on szczególne znaczenie w stomatologii prewencyjnej i/lub zachowawczej oraz higienie jamy ustnej jako składnik płynów do płukania, specjalistycznych past do zębów czy gum do żucia [Kmiec i in. 2017, Kulka i Sionkowska 2023], ale też innych preparatów stomatologicznych w formie żeli, sprayów, lakierów czy proszków [Fakhri i in. 2020, Valachová i Šoltés 2021, Piekarska i in. 2023]. Wykazano, że żucie gumy zawierającej chitozan było skuteczne w redukcji liczebności kolonii *S. mutans* – jednej z bakterii próchnicotwórczych w ślinie [Khamverdi i in. 2020]. Z kolei codzienne płukanie jamy ustnej 0,5% roztworem chitozanu nie tylko zmniejszało liczbę bakterii, ale też ograniczało powstawanie płytki nazębnej [Aranaz i in. 2018]. Podobne efekty uzyskano w badaniach Costa i in. [2013], w których stosowanie płynu do płukania jamy ustnej zawierającego 0,4% chitozanu hamowało przyleganie drobnoustrojów oraz sprzyjało usuwaniu istniejących i powstawaniu nowych biofilmów bakteryjnych.

Zastosowanie płukanki do jamy ustnej z dodatkiem 0,5% chitozanu było także skuteczne w leczeniu aft, zmniejszając wielkość stanów zapalnych oraz łagodząc dolegliwości bólowe [Rahmani i in. 2018]. W leczeniu aft i przewlekłego zapalenia przyzębia chitozan znalazł również zastosowanie w formie żelu – zarówno jako nośnik, jak i substancja bioaktywna [Akincibay i in. 2007].

Chitozan jako nośnik związków bioaktywnych

Ze względu na korzystne właściwości żelujące, chitozan może znajdować zastosowanie w przemyśle kosmetycznym jako nośnik składników pielęgnacyjnych i leczniczych w celu ich kontrolowanego uwalniania i długotrwałego działania, a tym samym zwiększonej wydajności. Szczególną popularność w tego typu zastosowaniach zyskują hydrożele. Należą one do klasy hydrofilowych materiałów polimerowych, których cechą charakterystyczną jest zdolność pęcznienia oraz wchłaniania i zatrzymywania wody w strukturze żelu [Mitura i in. 2020, Do i in. 2022]. Wykorzystanie hydrożeli chitozanowych umożliwia „zamknięcie” składników bioaktywnych i wydłużenie okresu ich przydatności, a także ochronę przed szybką degradacją w miejscu działania. W dobie obowiązujących eko-trendów dotyczy to przede wszystkim naturalnych środków terapeutycznych, takich jak ekstrakty roślinne, których doustne dostarczanie mogłoby być nieefektywne ze względu na możliwość rozpadu lub słabe wchłanianie w przewodzie pokarmowym. Ich zewnętrzne dostarczanie za pośrednictwem nośników hydrożelowych jest więc obiecującą alternatywą [Do i in. 2022]. Podobnie w przypadku olejków eterycznych, które wykazują szerokie spektrum działania, jednak jako substancje lotne nie utrzymują się na skórze odpowiednio długo, a w większych dawkach mogą wykazywać działanie drażniące. Ich dostarczenie na nośniku hydrożelowym może zredukować podrażnienia skóry, dostarczając składniki olejku do miejsca działania w optymalnej ilości [Do i in. 2022, Ghosh i in. 2022].

Obiecującą alternatywą dla hydrożeli do zastosowań kosmetycznych są nanocząsteczki i nanowłókna chitozanu. Mogą one oddziaływać z warstwami lipidowymi skóry oraz być wykorzystywane w dostarczaniu substancji aktywnych w różnego typu preparatach [Ta i in. 2021]. Formułacje chitozanowe mogą być

łączone z innymi środkami o działaniu synergicznym w celu zwiększenia aktywności przeciwdrobnoustrojowej chitozanu [Confederat i in. 2021]. Wykazano, że nanocząsteczki chitozanu charakteryzują się większą efektywnością przeciwdrobnoustrojową niż chitozan, która może być intensyfikowana w połączeniu z innymi składnikami. Przykładowo zastosowanie olejków eterycznych w nanonośnikach chitozanowych może wpływać korzystnie na poprawę właściwości biologicznych chitozanu, dodatkowo zwiększając obszar jego zastosowań [Yang i in. 2023].

Podsumowanie

Chitozan i jego pochodne znajdują wiele potencjalnych zastosowań w produktach kosmetycznych i kosmeceutycznych o zróżnicowanych formach fizykochemicznych oraz przeznaczeniu. Istnieje także możliwość stosowania chitozanu jako nośnika w systemach kontrolowanego uwalniania składników bioaktywnych. Polimer ten wykazuje wielokierunkowe działanie antyoksydacyjne, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwzapalne, nawilżające i regeneracyjne. Dodatkowo ma tak pożądane obecnie cechy jak naturalność, brak toksyczności, biogodność i biodegradowalność, które są zgodne z założeniami zielonej chemii oraz zrównoważonego rozwoju. Potencjalnie czyni go to wręcz idealnym składnikiem produktów kosmetycznych. Jednak jak każdy związek musi zostać poddany szczegółowym badaniom potwierdzającym te właściwości i możliwość zastosowania. Czynnikiem ograniczającym szersze wykorzystanie tego polimeru jako składnika kosmetyków są głównie trudności w recepturowaniu gotowych produktów, gdyż jest on uznawany za związek niekompatybilny z niektórymi grupami składników kosmetycznych oraz różnorodność surowca dostarczanego przez producentów (różne źródła, masa cząsteczkowa i stopień deacetylacji). Pomimo potencjału drzemącego w chitozanie obecnie na rynku krajowym oferta produktów kosmetycznych zawierających ten składnik pozostaje ograniczona.

Bibliografia

- Abd El-Hack M.E., El-Saadony M.T., Shafi M.E., Zabermawi N. M., Arif M., Batiha G. E., Khafaga F.A., Abd El-Hakim Y.M., Al-Sagheer A.A., 2020. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan and its derivatives and their applications: a review. *Int. J. Biol. Macromol.* 164, 2726–2744, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.153>
- Afonso C.R., Hirano R.S., Gaspar, A.L., Chagas, E.G.L., Carvalho R.A., Silva F.V., Leonardi G.R., Lopes P.S., Silva C.F., Yoshida, C.M.P., 2019. Biodegradable antioxidant chitosan films useful as an anti-aging skin mask. *Int. J. Biol. Macromol.* 132, 1262–1273, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.052>
- Akincibay H., Şenel S., Yetkin A.Z., 2007. Application of chitosan gel in the treatment of chronic periodontitis. *J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater.* 80, 290–296, <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30596>
- Ali G., Sharma M., Salama ES., Ling Z., Li X., 2024. Applications of chitin and chitosan as natural biopolymer: potential sources, pretreatments, and degradation pathways. *Biomass Conv. Bioref.* 14, 4567–4581, <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02684-x>
- Aliasghari A., Rabbani Khorasgani M., Vaezifar S., Rahimi F., Younesi H., Khoroushi M., 2016. Evaluation of antibacterial efficiency of chitosan and chitosan nanoparticles on cariogenic streptococci: An in vitro study. *Iran J. Microbiol.* 8, 93–100.
- Alves T.F.R., Morsink M., Batain F., Chaud M.V., Almeida T., Fernandes D.A., da Silva C.F., Souto E.B., Severino P., 2020. Applications of natural, semi-synthetic, and synthetic polymers in cosmetic formulations. *Cosmetics* 7, 75, <https://doi.org/10.3390/cosmetics7040075>
- Aranaz I., Acosta N., Civera C., Elorza B., Mingo J., Castro C., Gandía M.D.L., Heras Caballero A., 2018. Cosmetics and cosmeceutical applications of chitin, chitosan and their derivatives. *Polymers* 10, 213, <https://doi.org/10.3390/polym10020213>
- Azuma K., Koizumi R., Izawa H., Morimoto M., Saimoto H., Osaki T., Ito N., Yamashita M., Tsuka T., Imagawa T., Okamoto Y., Inoue T., Ifuku S., 2019. Hair growth-promoting activities of chitosan and surface-deacetylated chitin nanofibers. *Int. J. Biol. Macromol.* 126, 11–17, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.135>

- Bakshi P.S., Selvakumar D., Kadirvelu K., Kumar, N.S., 2020. Chitosan as an environment friendly biomaterial—a review on recent modifications and applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 150, 1072–1083, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.113>
- Casadidio C., Peregrina D.V., Gigliobianco M.R., Deng S., Censi R., Di Martino P., 2019. Chitin and chitosans: Characteristics, eco-friendly processes, and applications in cosmetic science. *Mar. Drugs* 17, 369, <https://doi.org/10.3390/md17060369>
- Cerqueira-Coutinho C., Santos-Oliveira R., dos Santos E., Mansur, C.R., 2015. Development of a photoprotective and antioxidant nanoemulsion containing chitosan as an agent for improving skin retention. *Eng. Life Sci.* 15(6), 593–604, <https://doi.org/10.1002/elsc.201400154>
- Chiavetta A., Mazzurco S., Secolo M.P., Tomarchio G., Milani M., 2019. Treatment of brittle nail with a hydroxypropyl chitosan-based lacquer, alone or in combination with oral biotin: a randomized, assessor-blinded trial. *Dermatol. Ther.* 32(5), 13028, <https://doi.org/10.1111/dth.13028>
- Chimenti S., Difonzo E., Aste N., Frisenda L., Caserini M., 2013. The protective efficacy of a new hydroxypropyl chitosan-based medical device in subjects at risk of onychomycosis. *J. Plastic Dermatol.* 9, 185–189.
- Confederat L.G., Tuchilus C.G., Dragan M., Sha'at M., Dragostin O.M., 2021. Preparation and antimicrobial activity of chitosan and its derivatives: a concise review. *Molecules* 26, 3694, <https://doi.org/10.3390/molecules26123694>
- Costa E.M., Silva S., Madureira, A.R., Cardelle-Cobas A., Tavaría F.K., Pintado M.M., 2014. A comprehensive study into the impact of a chitosan mouthwash upon oral microorganism's biofilm formation in vitro. *Carbohydr. Polym.* 101, 1081–1086, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.09.041>
- da Silva Lucas A.J., Oreste E.Q., Costa H.L.G., López H.M., Saad C.D.M., Prentice C., 2021. Extraction, physicochemical characterization, and morphological properties of chitin and chitosan from cuticles of edible insects. *Food Chem.* 343, 128550, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128550>

- Do N.H., Truong Q.T., Le P.K. Ha A.C., 2022. Recent developments in chitosan hydrogels carrying natural bioactive compounds. *Carbohydr. Polym.* 294, 119726, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119726>
- Dubey S.K., Dey A., Singhvi G., Pandey M.M., Singh V., Kesharwani P., 2022. Emerging trends of nanotechnology in advanced cosmetics. *Colloids Surf. B: Biointerfaces* 214, 112440, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112440>
- El-Araby A., Janati W., Ullah R., Ercisli S., Errachidi F., 2024. Chitosan, chitosan derivatives, and chitosan-based nanocomposites: eco-friendly materials for advanced applications (a review). *Front. Chem.* 11, 1327426, <https://doi.org/10.3389/fchem.2023.1327426>
- Fakhri E., Eslami H., Maroufi P., Pakdel F., Taghizadeh S., Ganbarov K., Yousefi M., Tanomand A., Yousefi B., Mahmoudi S., Kafil H.S., 2020. Chitosan biomaterials application in dentistry. *Int. J. Biol. Macromol.* 162, 956–974, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.211>
- Fatullayeva S., Tagiyev D., Zeynalov N., Mammadova S., Aliyeva E., 2022. Recent advances of chitosan-based polymers in biomedical applications and environmental protection. *J. Polym. Res.* 29, 259, <https://doi.org/10.1007/s10965-022-03121-3>
- Ferreira P.G., Ferreira V.F., da Silva F.C., Freitas C.S., Pereira P.R., Paschoalin V.M.F., 2022. Chitosans and nanochitosans: Recent advances in skin protection, regeneration, and repair. *Pharmaceutics* 14, 1307, <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14061307>
- Franca C.C.V., Ueno, H.M., 2020. Green cosmetics: perspectives and challenges in the context of green chemistry. *Desenvolv e Meio Ambient* 53, 133–150, <https://doi.org/10.5380/dma.v53i0.62322>
- Gao H., Wu N., Wang N., Li J., Sun J., Peng, Q., 2022. Chitosan-based therapeutic systems and their potentials in treatment of oral diseases. *Int. J. Biol. Macromol.* 222, 3178–3194, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.090>
- Gaspar A.L., Gaspar A.B., Contini L.R., Silva M.F., Chagas E.G., Bahú J. O., Concha O.C., Carvahlo R.A., Severino P., Souto E.B., Lopes P.S., Yoshida C.M.P., 2022.

Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) – incorporated chitosan bioactive films for potential skincare applications. *Int. J. Pharm.* 628, 122301, <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2022.122301>

Ghannoum M.A., Long L., Isham N., Bulgheroni A., Setaro M., Caserini M., Palmieri R., Mailland F., 2015. Ability of hydroxypropyl chitosan nail lacquer to protect against dermatophyte nail infection. *Antimicrob. Agents Chemother.* 59, 1844–1848, <https://doi.org/10.1128/aac.04842-14>

Ghosh B., Bhattacharya D., Mukhopadhyay M., 2022. a hydrogel sheet mask with tea tree essential oil entrapment and targeted dose delivery capability. *Materials Today: Proceedings* 57, 77–83, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.349>

Gupta S., Sharma S., Nadda A.K., Husain M.S.B., Gupta, A., 2022. Biopolymers from waste biomass and its applications in the cosmetic industry: a review. *Mater. Today: Proc.* 68, 873–879, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.422>

Guzmán E., Ortega F., Rubio R.G., 2022. Chitosan: a promising multifunctional cosmetic ingredient for skin and hair care. *Cosmetics* 9, 99, <https://doi.org/10.3390/cosmetics9050099>

Hernández-Rivas M., Guzmán E., Fernández-Peña L., Akanno A., Greaves A., Léonforte F., Ortega F., Rubio R.G., Luengo G.S., 2020. Deposition of synthetic and bio-based polycations onto negatively charged solid surfaces: effect of the polymer cationicity, ionic strength, and the addition of an anionic surfactant. *Colloids Interfaces* 4, 33, <https://doi.org/10.3390/colloids4030033>

Ke C.-L., Deng F.-S., Chuang C.-Y., Lin C.-H., 2021. Antimicrobial actions and applications of chitosan. *Polymers* 13, 904, <https://doi.org/10.3390/polym13060904>

Khamverdi Z., Farhadian F., Khazaei S., Adabi M., 2020. Efficacy of chitosan-based chewing gum on reducing salivary *S. mutans* counts and salivary pH: a randomised clinical trial. *Acta Odontol. Scand.* 79(4), 268–274, <https://doi.org/10.1080/00016357.2020.1836392>

- Kniec M., Pighinelli L., Tedesco M.F., Silva M.M., Reis V., 2017. Chitosan-properties and applications in dentistry. *Adv. Tissue Eng. Regen. Med.* 2(4), 205–211, <https://doi.org/10.15406/atroa.2017.02.00035>
- Kulka K., Sionkowska A., 2023. Chitosan based materials in cosmetic applications: a review. *Molecules* 28, 1817, <https://doi.org/10.3390/molecules28041817>
- Matica M.A., Aachmann F.L., Tøndervik A., Sletta, H., Ostafe V., 2019. Chitosan as a wound dressing starting material: antimicrobial properties and mode of action. *Int. J. Mol. Sci.* 20, 5889, <https://doi.org/10.3390/ijms20235889>
- Mitura S., Sionkowska A., Jaiswal, A., 2020. Biopolymers for hydrogels in cosmetics. *J. Mater. Sci. Mat. Med.* 31, 1–14, <https://doi.org/10.1007/s10856-020-06390-w>
- Mohamad E.A., Rageh M.M., Darwish M.M., 2021. A sunscreen nanoparticles polymer based on prolonged period of protection. *J. Bioact. Compat. Polym.* 37(1), 17–27, <https://doi.org/10.1177/08839115211061741>
- Mondello A., Salomone R., Mondello G., 2024. Exploring circular economy in the cosmetic industry: Insights from a literature review. *Environ. Impact Assess. Rev.* 105, 107443, <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107443>
- Morganti P., Morganti G., Coltelli M.B., 2021. Smart and sustainable hair products based on chitin-derived compounds. *Cosmetics* 8, 20, <https://doi.org/10.3390/cosmetics8010020>
- Morsy R., Ali S.S., El-Shetehy M., 2017. Development of hydroxyapatite-chitosan gel sunscreen combating clinical multidrug-resistant bacteria. *J. Mol. Struct.* 1143, 251–258, <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2017.04.090>
- Nasaj M., Chehelgerdi M., Asghari B., Ahmadih-Yazdi A., Asgari M., Kabiri-Samani S., Sharifi E., Arabestani M., 2024. Factors influencing the antimicrobial mechanism of chitosan action and its derivatives: a review. *Int. J. Biol. Macromol.* 134321, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134321>
- Petrack J., Ibadurrohman M., Slamet S., 2020. Synthesis of chitosan/TiO₂ nanocomposite for antibacterial sunscreen application. *AIP Conference Proceedings*, 2255(1), 060020, <https://doi.org/10.1063/5.0014126>

- Piekarska K., Sikora M., Owczarek M., Jóźwik-Pruska J., Wiśniewska-Wrona M., 2023. Chitin and chitosan as polymers of the future – obtaining, modification, life cycle assessment and main directions of application. *Polymers* 15, 793, <https://doi.org/10.3390/polym15040793>
- Piraccini B.M., Iorizzo M., Lencastre A., Nenoff P., Rigopoulos D., 2020. Ciclopirox hydroxypropyl chitosan (HPCH) nail lacquer: a review of its use in onychomycosis. *Dermatol. Ther.* 10, 917–929, <https://doi.org/10.1007/s13555-020-00420-9>
- Rahmani F., Moghadamnia A.A., Kazemi S., Shirzad A., Motalebnejha M., 2018. Effect of 0.5% chitosan mouthwash on recurrent aphthous stomatitis: a randomized double-blind crossover clinical trial. *Electron. Physician* 10, 6912–6919, <https://doi.org/10.19082%2F6912>
- Rathod S., Mali S., Shinde N., Aloorkar N., 2020. Cosmeceuticals and beauty care products: current trends with future prospects. *Res. J. Topical Cosmetic Sci.* 11(1), 45–51, <http://dx.doi.org/10.5958/2321-5844.2020.00008.4>
- Rehman K., Hollah C., Wiesotzki K., Heinz V., Aganovic K., Rehman R., Petrusan J.-I., Zheng L., Zhang J., Sohail S., Mansoor M.K., Rumbos C.I., Anthanassiou C., Cai M., 2023. Insect-derived chitin and chitosan: a still unexploited resource for the edible insect sector. *Sustainability* 15, 4864, <https://doi.org/10.3390/su15064864>
- Rejinold N.S., Choi G. Choy JH., 2021. Chitosan hybrids for cosmeceutical applications in skin, hair and dental care: an update. *emergent mater. Emerg. Mater.* 4, 1125–1142, <https://doi.org/10.1007/s42247-021-00280-9>
- Rocca R., Acerbi F., Fumagalli L., 2022. Sustainability paradigm in the cosmetics industry: State of the art. *Clean. Waste Sys.* 3, 100057, <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2022.100057>
- Sasounian R., Martinez R.M., Lopes A.M., Giarolla J., Rosado C., Magalhães W.V., Velasco M.V.R., Baby A.R., 2024. Innovative approaches to an eco-friendly cosmetic industry: a review of sustainable ingredients. *Clean Technol.* 6, 176–198, <https://doi.org/10.3390/cleantechnol6010011>

Siahaan E.A., Agusman, Pangestuti R., Shin K.-H., Kim S.-K., 2022. Potential cosmetic active ingredients derived from marine by-products. *Mar. Drugs* 20, 734, <https://doi.org/10.3390/md20120734>

Sionkowska A., Kaczmarek B., Michalska M., Lewandowska K., Grabska S., 2017. Preparation and characterization of collagen/chitosan/hyaluronic acid thin films for application in hair care cosmetics. *Pure Appl. Chem.* 89(12), 1829–1839, <https://doi.org/10.1515/pac-2017-0314>

Stasińska-Jakubas M., Hawrylak-Nowak B., 2022. Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules* 27, 2801, <https://doi.org/10.3390/molecules27092801>

Ta Q., Ting J., Harwood S., Browning N., Simm A., Ross K., Olier I., Al-Kassas R., 2021. Chitosan nanoparticles for enhancing drugs and cosmetic components penetration through the skin. *Eur. J. Pharm. Sci.* 160, 105765, <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2021.105765>

Thambiliyagodage C., Jayanetti M., Mendis A., Ekanayake G., Liyanaarachchi H., Vigneswaran S., 2023. Recent advances in chitosan-based applications – a review. *Materials* 16, 2073, <https://doi.org/10.3390/ma16052073>

Theerawattanawit C., Phaiyarin P., Wanichwecharungruang S., Noppakun N., Asawanonda P., Kumtornrut C., 2022. The efficacy and safety of chitosan on facial skin sebum. *Skin Pharmacol. Physiol.* 35(1), 23–30, <https://doi.org/10.1159/000517965>

Triunfo M., Tafi E., Guarnieri A., Salvia R., Scieuzo C., Hahn T., Zibek S., Gagliardini A., Panariello, L., Coltelli, M.B., De Bonis, A., Falabella, P., 2022. Characterization of chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens*, a further step in a circular economy process. *Sci. Rep.* 12(1), 6613, <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10423-5>

Tunku Mahmud T.H., Abdul-Aziz A., Muda R., 2015. a review on the potential use of chitosan-based delivery system in mild facial cleansing formulation. *Int. J. Polym. Mater.* 64(8), 432–437, <https://doi.org/10.1080/00914037.2014.958832>

Ustawa z dnia 4 października 2018 r. o produktach kosmetycznych. *Dz.U.* 2018, poz. 2227.

Valachová K., Šoltés L., 2021. Versatile use of chitosan and hyaluronan in medicine. *Molecules* 26, 1195, <https://doi.org/10.3390/molecules26041195>

Więckiewicz M., Boening K.W., Grychowska N., Paradowska-Stolarz A., 2017. Clinical application of chitosan in dental specialities. *Mini-Rev. Med. Chem.* 17(5), 401–409, <https://doi.org/10.2174/1389557516666160418123054>

Yang Y., Aghbashlo M., Gupta V.K., Amiri H., Pan J., Tabatabaei M., Rajaei A., 2023. Chitosan nanocarriers containing essential oils as a green strategy to improve the functional properties of chitosan: a review. *Int. J. Biol. Macromol.* 236, 123954, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123954>

Abstract

In line with the principles of sustainability and green chemistry, the use of naturally derived ingredients in cosmetics and pharmaceuticals is a sensible and effective solution. Non-toxic, biodegradable and biocompatible compounds are highly desirable. These criteria are met by chitin and its deacetylated derivative, chitosan, which have unique biological and technological properties. The main sources of chitin and chitosan are the shells of crustaceans, the cell walls of fungi or the bodies of insects. This review discusses the functions of chitosan as an active ingredient in various cosmetic and cosmeceutical products for skin and hair care, as an oral hygiene agent and as a carrier for active ingredients. The importance of the physicochemical properties of this polymer, including molecular weight, pH and degree of deacetylation, in relation to specific skin care applications is highlighted. These parameters are crucial for the degree of swelling, viscosity and solubility of chitosan and consequently its antimicrobial and antioxidant activity and applicability in individual cosmetic formulations.

Key words: chitosan, body care, chitin derivatives, cosmetic ingredients

Surowce pochodzenia roślinnego w kosmetykach wegańskich

Plant-based raw materials in vegan cosmetics

Aleksandra Bartkowska-Bekasiewicz 

<https://orcid.org/0000-0001-6046-3750>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin

e-mail: aleksandra.bartkowska@up.lublin.pl

Tomasz Mieczan  <https://orcid.org/0000-0003-2839-1798>

Adam Bownik <https://orcid.org/0000-0003-3623-838X>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin

Streszczenie

Kosmetyki wegańskie to zdecydowanie przyszłościowy trend w branży kosmetycznej, który z wielu powodów zyskuje coraz większą popularność. Globalny rynek kosmetyków wegańskich rośnie w imponującym tempie. Przemysł kosmetyczny dynamicznie reaguje na zmieniające się potrzeby konsumentów, a wzrastające zainteresowanie ekologią, etycznym podejściem do produkcji oraz zdrowym trybem życia tworzą przestrzeń dla innowacyjnych rozwiązań, takich jak wegańskie produkty kosmetyczne. Nieustannie wprowadzane są nowe technologie, które umożliwiają tworzenie zaawansowanych formuł wegańskich. Przykładem mogą być syntetyczne zamienniki składników odzwierzęcych (takich jak kolagen czy keratyna), które są

równie skuteczne, a jednocześnie zgodne z ideą weganizmu. Celem pracy było przedstawienie zastosowania kosmetyków wegańskich jako alternatywy do innych rodzajów kosmetyków. W poniższym rozdziale omówione zostały również naturalne substancje pochodzenia roślinnego, które najczęściej wykorzystywane są w produkcji tych artykułów w branży beauty. Na podstawie analizy danych literaturowych stwierdzono, że coraz więcej osób interesuje się tym, jak powstają używane przez nich produkty, jakie mają składniki i jaki mają one wpływ na środowisko. Kosmetyki wegańskie, które nie zawierają składników pochodzenia zwierzęcego, odpowiadają na te potrzeby. Etyczna produkcja i przejrzystość składników stały się kluczowymi wartościami dla świadomych konsumentów. Rosnące zainteresowanie produktami tego typu ze strony konsumentów oraz innowacje w zakresie ich produkcji sprawiają, że mają potencjał, by stać się kluczowym elementem rynku kosmetycznego w nadchodzących latach.

Słowa kluczowe: biokosmetologia, ekologia, substancje aktywne

Wstęp

Historia upiększania ciała obejmuje co najmniej 40 tys. lat, co świadczy o długotrwałej fascynacji ludzi pięknem i troską o wygląd. Z czasem połączono to ze świadomym wyborem produktów o wartościowym składzie [Weiberg 2013]. Wraz z rozwojem gospodarczym branża kosmetyczna stała się jedną z najintensywniej rozwijających się gałęzi przemysłu. Wpływ na to miało nie tylko zapotrzebowanie na produkty stosowane do codziennej pielęgnacji, ale również ich wielokierunkowe działanie [Siti Zulaikha i in. 2015]. W ostatnim czasie popularnym trendem stało się stosowanie kosmetyków wegańskich. Istotny wpływ na większe zainteresowanie tymi produktami miał wzrost świadomości grupy konsumentów, którzy wnikliwie analizowali skład wybranych produktów. Zdrowy styl życia oraz wyznawane wartości społeczne spowodowały, że częściej sięgają oni po kosmetyki oznaczone znakiem "vegan" [Oliver 2021]. Słowo "kosmetyk" wywodzi się z greckiego "*kosmetikos*" i oznacza zdolność poprawiania swojej urody [Murube 2013]. Weganizm natomiast definiuje się jako niewykorzystywanie produktów pochodzenia zwierzęcego oraz

ochronę życia zwierząt [Giraud 2021]. Kosmetyki wegańskie mają swoich zwolenników nie tylko wśród osób, które troszczą się o losy zwierząt, ale także wśród ludzi poszukujących ekologicznych rozwiązań i mających na uwadze dobro środowiska [Pangestuti i Se-Kwon 2011].

Świadomi producenci marek kosmetycznych dążą do zminimalizowania wykorzystywania składników syntetycznych oraz pochodzenia zwierzęcego, w zamian za to wzbogacając skład produktów o substraty naturalne [Choi 2019, Oliver 2021]. Kosmetyki wegańskie o prostym, naturalnym składzie oraz produkowane na bazie wysokiej jakości składników, mogą pozytywnie wpływać na zdrowie, ale ich korzyści zależą od indywidualnych potrzeb skóry [Chrzastek i in. 2015]. Brak dodatku substancji syntetycznych w produktach kosmetycznych będzie miał pozytywny wpływ nie tylko na zdrowie człowieka, lecz również na środowisko, co w czasie intensywnie rozwijającego się przemysłu stanowi bardzo istotny aspekt [Giraud 2021, Kim 2020].

Badania przeprowadzone przez amerykańską agencję badań rynku Data Bridge Market Research wskazują, że rynek kosmetyków wegańskich w ujęciu wartościowym będzie nadal wzrastał, stymulowany przez globalne trendy ekologiczne i prozdrowotne. Istotnie potwierdza to obserwowany wzrost zainteresowania konsumentów produktami wegańskimi, które w minimalnym stopniu zawierają środki syntetyczne [Kim 2020]. Popularny w obecnych czasach zdrowy tryb życia może być obecnie definiowany już nie tylko jako zdrowa żywność czy aktywność fizyczna, ale również jako stosowanie produktów codziennego użytku, tworzonych z myślą o człowieku oraz o środowisku. W pełni uzasadnia to istotność podjętego tematu pracy, który jest niezwykle rozwojowy oraz przyszłościowy. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie podstawowych informacji na temat kosmetyków wegańskich oraz zagadnień z nimi związanych. W niniejszym przeglądzie zostanie poruszony temat surowców pochodzenia roślinnego zawartych w kosmetykach oraz ich wpływ na organizm i środowisko naturalne.

Charakterystyka kosmetyków wegańskich

Na przestrzeni lat rynek kosmetyczny rozwija się bardzo dynamicznie, między innymi za sprawą zmieniających się trendów oraz przez wpływy kulturowe. Spośród zróżnicowanego asortymentu coraz większą popularnością cieszą się kosmetyki wegańskie, przede wszystkim ze względu na fakt, że nie są one testowane na zwierzętach, nie zawierają składników pochodzenia zwierzęcego, a także składają się z naturalnych składników pochodzenia roślinnego. Dodatkowo ich popularności sprzyja fakt, że w produktach wegańskich zdecydowanie rzadziej dodawane są konserwanty, sztuczne substancje zapachowe oraz barwiące, syntetyczne środki powierzchniowo czynne lub inne substancje uznawane za potencjalnie szkodliwe [Choi i Yoh 2013]. Substancje roślinne występują głównie w postaci ekstraktów, olejków eterycznych oraz zapachowych, hydrolatów, żywic oraz gum. Substancje czynne pozyskiwane są z części, w których nagromadzenie składników jest największe [Glinka 2008, Śpiewak 2012, Çankaya 2018]. Składniki te pomagają w nawilżaniu, regeneracji oraz ochronie skóry przed szkodliwymi czynnikami zewnętrznymi. Z kolei zabiegi kosmetyczne z zastosowaniem substancji roślinnych, takie jak masaże, peelingi czy terapie SPA, wspomagają odnowę biologiczną, poprawiając krążenie i elastyczność skóry [Begg i in. 2007]. Kosmetyki wegańskie służące do pielęgnacji skóry są wytwarzane głównie w postaci kremów, balsamów, olejków na bazie składników roślinnych, takich jak aloes, olej kokosowy, masło shea. W pielęgnacji włosów główną rolę odgrywają substancje pozyskane z pokrzywy lub rumianku, które wchodzi w skład szamponów i odżywek. Do makijażu wytwarzane są podkłady, szminki, cienie do powiek, wykonane z naturalnych pigmentów roślinnych, np. betaniny z buraków, natomiast do kąpieli – żele i mydła, wolne od produktów zwierzęcych, często wzbogacone o olejki eteryczne i zioła [Arnaudin, 2019, Amato 2020].

Substancje aktywne obecne w roślinach, wykorzystywane w kosmetykach wegańskich

Substancje czynne pochodzenia roślinnego, które wchodzi w skład kosmetyków wegańskich, różnią się między sobą budową i składem chemicznym [Lamer-

Zalawska i in. 2007, Kohlmünzer 2017]. Wyróżnia się dwie główne ich grupy: metabolity pierwotne oraz wtórne. Wśród metabolitów pierwotnych występują: węglowodany, tłuszcze, białka, aminokwasy, enzymy oraz chlorofil. Do metabolitów wtórnych zaliczane są na przykład saponiny, kumaryny, flawonoidy, alkaloidy, żywice i balsamy, olejki eteryczne, a także garbniki [Lamer-Zalawska i in. 2007, Özgen i in. 2010, Kohlmünzer 2017, Skorek 2022].

Węglowodany wykorzystywane są do produkcji kosmetyków wegańskich ze względu na doskonałe właściwości odżywcze dla skóry i organizmu [Czerpak i Jabłońska-Trypuć 2008]. Najczęściej stosowane są polisacharydy, oligosacharydy oraz ich pochodne. Substancje te są niezastąpione w produktach nawilżających, ochronnych, regenerujących oraz łagodzących. Wspierają procesy naprawcze skóry, poprawiając jej elastyczność, nawilżenie i odporność na czynniki zewnętrzne. Ze względu na naturalne pochodzenie i delikatne działanie są często wybierane do kosmetyków przeznaczonych dla skóry wrażliwej i problematycznej [Hirata i in. 2022]. Istotnymi składnikami pochodzącymi ze ścian komórkowych lub z treści komórkowej (takiej jak polisacharydy i glikoproteiny) są również śluzy, które stanowią mieszaninę różnorodnych polisacharydów [Lamer-Zalawska i in. 2007, Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008, Kohlmünzer 2017]. Śluzy roślinne to naturalne substancje, wytwarzane przez rośliny w odpowiedzi na stres lub uszkodzenia. W literaturze przedstawiony jest szeroki zakres działania tych substancji (wykorzystywane są ze względu na swoje nawilżające, łagodzące oraz ochronne właściwości) [Jędrzejko i in. 2012]. Określa się je mianem zmiękczających oraz uelastyczniających, łagodzą podrażnienia, stanowią powłokę ochronną przed substancjami wywołującymi potencjalne podrażnienia, zmiękczają naskórek oraz rozszerzają pory [Jędrzejko i in. 2012]. Wśród stosowanych roślin śluzotwórczych wymienia się między innymi: prawoślaz lekarski (*Althaea officinalis* L.), siemię lniane (*Linum usitatissimum* L.), nasiona chia (*Salvia hispanica* L.) lub aloes (*Aloe vera* L.) [Wahan i Khan 2018, Bourgeois i Chabi 2019]. Śluzy pochodzenia roślinnego najczęściej wykorzystywane są do produkcji kremów, balsamów do ciała, produktów poprawiających kondycję włosów oraz kosmetyków do skóry wrażliwej oraz atopowej. W składzie produktów wegańskich znajdują się także tłuszcze pochodzenia roślinnego, które pod względem chemicznym stanowią połączenie estrów organicznych, kwasów tłuszczowych

i alkoholi [Jędrzejko i in. 2012]. Najczęściej wykorzystywanym surowcem są oleje roślinne, zalecane w kuracjach regeneracyjnych oraz pielęgnacyjnych skóry, włosów i paznokci. Intensywnie natłuszczają, odżywiają oraz regenerują komórki. Poprawiają stan nawodnienia skóry oraz zwiększają jej elastyczność [Jędrzejko i in. 2012]. Popularnymi olejami roślinnymi wykorzystywanymi w kosmetyce są między innymi: olej arganowy pozyskiwany z nasion drzewa arganowego, olej kokosowy pozyskiwany z miąższu orzecha kokosowego, olej migdałowy z nasion słodkich migdałów, olej awokado pozyskiwany z miąższu owoców awokado, olej z nasion dzikiej róży czy olej makadamia pozyskiwany z orzechów makadamii. Zazwyczaj są dodawane do szamponów, odżywek do włosów, kremów, balsamów czy pomadek do ust. W zależności od budowy chemicznej mogą być źródłem witamin oraz niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (NNKT) [Glinka 2008, Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008]. Co istotne, воск roślinny jest szczególnie ważny w procesie produkcji kosmetyków wegańskich – zastępuje воск pszczoły [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008, Jędrzejko i in. 2012].

W składzie kosmetyków wegańskich występują również pektyny, czyli związki polimeryczne, będące mieszaninami pentoz, heksoz oraz kwasów uronowych – kwasu galakturonowego [Lamer-Zalawska i in. 2007, Kohlmünzer 2017]. Charakteryzują się one zdolnością pęcznienia i mogą tworzyć roztwory koloidalne. Pektyny są składnikami roślinnymi, co czyni je bezpiecznymi dla skóry i środowiska. Wykazują właściwości zmiękczające, odżywcze, przeciwzapalne oraz emulgujące. Bardzo często wykorzystywane są w kremach beztłuszczowych oraz w kataplazmach, które mają na celu zmiękczenie zrogowaciałego naskórka. Pektyny są powszechnie wykorzystywane w maseczkach do twarzy, ze względu na właściwości żelujące, które umożliwiają wygładzenie skóry, jej nawilżenie oraz złagodzenie podrażnień. W szamponach oraz odżywkach do włosów działają jako środek kondycjonujący oraz chroniący przed uszkodzeniami mechanicznymi i utratą wilgoci. W balsamach do ust działają nawilżająco i ochronnie, dzięki utworzeniu powłoki zapobiegającej pękaniu [Glinka 2008].

Olejki eteryczne są lotnymi substancjami o zróżnicowanym składzie chemicznym. Występują w nich między innymi węglowodory terpenowe, alkohole, aldehydy,

ketony, estry i etery [Lamer-Zalawska i in. 2007, Jędrzejko i in. 2012, Kohlmünzer 2017]. W kosmetyce olejki eteryczne wykorzystywane są głównie w balsamach, kremach oraz żelach. Zapewniają stabilność mikrobiologiczną oraz nadają intensywny zapach. Dodatkowo mogą łagodzić stany zapalne, hamować proces starzenia się skóry, a także przyspieszają proces odbudowy kolagenu i elastyny [Jędrzejko i in. 2012, Kohlmünzer 2017]. Pod względem chemicznym dość podobne do olejków eterycznych są balsamy oraz żywice [Kohlmünzer 2017]. Balsamy są zazwyczaj stosowane jako dodatki do mydeł oraz maści ochronnych, żywice natomiast do past do zębów oraz płynów do płukania jamy ustnej [Lamer-Zalawska i in. 2007, Glinka 2008].

Saponiny, czyli substancje o charakterze amfipatycznym [Jędrzejko i in. 2012], charakteryzują się zdolnością do tworzenia piany w wodzie. Stanowią doskonałą alternatywę dla syntetycznych środków powierzchniowo czynnych, co sprawia, że są cenione w kosmetyce. Ze względu na swoje liczne właściwości są składnikiem szamponów, płynów do kąpieli, maseczek regeneracyjnych do twarzy lub past do zębów [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008]. Wykazują działanie obniżające napięcie powierzchniowe, przeciwzapalne, antyalergiczne oraz przeciwgrzybicze [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008]. Są delikatniejsze od syntetycznych detergentów, co czyni je doskonałym substratem do produktów przeznaczonych dla osób o skórze wrażliwej i alergicznej. Rośliny bogate w saponiny to między innymi żeń-szeń (*Panax ginseng*), kasztanowiec zwyczajny (*Aesculus hippocastanum*), pokrzywa (*Urtica dioica*) czy lukrecja (*Glycyrrhiza glabra*) [Güçlü-Ustündağ i Mazza 2007].

Kumaryny są związkami chemicznymi, które w roślinach najczęściej występują w postaci wolnej lub w postaci glikozydów [Kohlmünzer 2017]. Gromadzone są w wakuolach komórek, szczególnie w nadziemnych częściach rośliny [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008]. Mają charakterystyczny słodki zapach, przypominający nutę wanilii z migdałami, co powoduje, że są często stosowane w przemyśle perfumeryjnym. Ze względu na swoje właściwości zapachowe oraz terapeutyczne, kumaryny są wykorzystywane w przemyśle kosmetycznym. Wykazują również liczne właściwości prozdrowotne. Stosowane są głównie w składzie produktów

antycellulitowych, pobudzających repigmentację w bielactwie i w łuszczycy, jako środek aromatyzujący oraz przeciwbakteryjny. Wpływają na zahamowanie syntezy melaniny, mają zdolność pochłaniania promieniowania UV, co powoduje, że mogą być wykorzystywane jako naturalne filtry przeciwsłoneczne lub składniki chroniące skórę przed słońcem. Obniżają stężenie lipidów i cholesterolu we krwi. Dodatkowo mają właściwości antyoksydacyjne, przez co mogą neutralizować wolne rodniki uszkadzające komórki skóry [Jędrzejko i in. 2012]. Kumaryny są obecne w wielu roślinach, takich jak tonka (*Dipteryx odorata*), kasztanowiec (*Aesculus hippocastanum*) [Jędrzejko i in. 2012].

Kwasy hydroksylowe są jednymi z najczęściej wykorzystywanych składników aktywnych w kosmetykach, szczególnie w produktach do pielęgnacji skóry. Dzięki swoim właściwościom złuszczającym, nawilżającym oraz poprawiającym stan skóry, mają szerokie zastosowanie, zarówno w produktach przeciwzmarszczkowych, jak i przeciwtrądzikowych [Zoe i Draelos 2015]. Wyróżniono trzy główne grupy kwasów hydroksylowych. Pierwszą z nich są alfa-hydroksykwasy (AHA) i stanowią grupę najczęściej stosowaną. Występują one w owocach, np. w cytrynie, porzeczce lub w malinach. Obecne w nich kwasy mają działanie wygładzające, odświeżające oraz nawadniające, dodatkowo regulują proces odnowy biologicznej, ułatwiają usuwanie zrogowaciałego naskórka, a także zwiększają syntezę kolagenu i elastyny. Występują w kosmetykach przeznaczonych dla skóry suchej i skłonnej do powstawania zmarszczek [Jędrzejko i in. 2012]. Drugą grupą są beta-hydroksykwasy (BHA), z których najbardziej znany jest kwas salicylowy, mający właściwości przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, złuszczające, wygładzające oraz poprawiające kondycję skóry. Jego działanie jest bardzo łagodne, dlatego też licznie występuje w preparatach przeznaczonych do pielęgnacji twarzy i całego ciała [Jędrzejko i in. 2012]. Ostatnią grupą wyróżnianą wśród hydroksykwasów są poli-hydroksykwasy (PHA) [Marwicka i in. 2021]. Działanie PHA jest bardzo zbliżone do AHA, lecz łagodniejsze. Najbardziej znanymi z tej grupy są kwas laktobionowy oraz glukanolakton i glukoheptanolakton. Produkty wzbogacone PHA są przeznaczone do skóry wrażliwej, atopowej oraz z trądzikiem różowatym [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008].

Barwniki roślinne w kosmetykach są naturalnymi substancjami wykorzystywanymi do nadawania koloru produktom kosmetycznym. Oprócz funkcji estetycznej, mogą mieć również właściwości pielęgnacyjne. Wśród barwników roślinnych wyróżnia się chlorofil, karotenoidy i flawonoidy. Chlorofil jest barwnikiem fotosyntetycznym u roślin; dodawany jest do kosmetyków, tj. kremów, past do zębów czy emulsji do kąpieli, ze względu na właściwości przeciwzapalne, antybakteryjne i odwadniające [Jędrzejko i in. 2012]. Karotenoidy wykazują właściwości przeciwdziałające złuszczeniu się skóry, przyspieszające gojenie uszkodzeń nabłonka, działanie ochronne przed promieniowaniem UV oraz przeciwnowotworowe, dlatego są głównie składnikami kremów [Jędrzejko i in. 2012]. Flawonoidy występują głównie w liściach, kwiatach i owocach [Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008, Jędrzejko i in. 2012, Gilbert 2020]; do najważniejszych z nich należą: kwercetyna, izokwercetyna i rutyna [Lamer-Zalawska i in. 2007, Kohlmünzer 2017]. Substancje te wpływają bezpośrednio na zwiększenie odporności ścian naczyń włosowatych, działają przeciwzapalnie, przeciwuczuleniowo oraz przeciwutleniająco [Jędrzejko i in. 2012, Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008]. Ze względu na bardzo szeroki zakres działania flawonoidów są one licznie wykorzystywane w produktach kosmetycznych przede wszystkim jako naturalne środki przedłużające datę ważności produktu oraz antyoksydanty. Dodawane są głównie do kremów oraz szamponów [Jędrzejko i in. 2012, Gilbert 2020]. Oprócz flawonoidów w produkcji kosmetyków wegańskich wykorzystuje się również fitohormony, czyli hormony roślinne, które pełnią głównie funkcję katalizatorów przemian metabolicznych [Jędrzejko i in. 2012, Gilbert 2020]. Wśród fitohormonów roślinnych wyróżnia się głównie auksyny, gibereliny oraz cytokininy, które znalazły praktyczne zastosowanie jako substancje opóźniające proces starzenia skóry, zapobiegające stanom zapalnym, przeciwnowotworowe oraz immunosupresyjne (tab. 1) [Lamer-Zalawska i in. 2007, Glinka 2008, Jabłońska-Trypuć i Czerpak 2008, Kapuścińska i Nowak 2015, Szot 2015].

Tabela 1. Właściwości kosmetyczne substancji pochodzenia naturalnego

Substancja	Właściwości kosmetyczne
Węglowodany	nawilżające, ochronne, regenerujące, łagodzące
Śluz roślinne	nawilżające, zmiękczone, uelastyczniające, łagodzące podrażnienia
Tłuszcze roślinne (oleje roślinne)	natłuszczające, odżywcze, regenerujące, poprawiające elastyczność skóry
Wosk roślinny	Emolient zastępuje wosk pszczoły w kosmetykach wegańskich
Pektyny	zmiękczone, odżywcze, przeciwzapalne, emulgujące
Olejki eteryczne	zapachowe, antybakteryjne, przeciwzapalne, przeciwstarzeniowe, odbudowujące kolagen i elastynę
Żywyce i balsamy	ochronne, stosowane w pastach do zębów i płynach do płukania ust
Saponiny	przeciwzapalne, antyalergiczne, przeciwgrzybicze, stosowane w produktach do skóry wrażliwej
Kumaryny	aromatyzujące, przeciwbakteryjne, antyoksydacyjne, naturalne filtry UV, stosowane w produktach antycellulitowych
Kwasy hydroksylowe (AHA, BHA, PHA)	złuszczone, nawilżające, przeciwtrądzikowe, przeciwzmarszczkowe
Barwniki roślinne (chlorofil, karotenoidy, flawonoidy)	przeciwzapalne, antyoksydacyjne, ochronne przed promieniowaniem UV
Fitohormony (auksyny, gibereliny, cytokininy)	opóźniające proces starzenia, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe, immunosupresyjne

Kosmetyki wegańskie vs kosmetyki syntetyczne

Podstawą sukcesu kosmetyków wegańskich jest świadomość konsumentów, a także ich zadowolenie z tego typu produktów [Kim 2020]. Produkty wegańskie do pielęgnacji ciała, w większości przypadków, nie są wzbogacane konserwantami. W przeciwieństwie do kosmetyków syntetycznych, w których substancje aktywne, konserwanty, barwniki czy substancje zapachowe są wytwarzane syntetycznie i nie pochodzą bezpośrednio z naturalnych surowców [Pangestuti i Se-Kwon 2011]. Nie jest to obojętne dla zdrowia człowieka. Kosmetyki tradycyjne zawierają substancje, które na przestrzeni czasu mogą powodować negatywne zmiany w komórkach organizmu. Zaleca się stosowanie kosmetyków wegańskich ze względu na niższe prawdopodobieństwo alergizacji oraz powstania komórek nowotworczych [Saxe 2011]. Ponadto produkty zawierające naturalne substancje aktywne, tj. metabolity pierwotne oraz metabolity wtórne mogą mieć szerokie zastosowanie – pielęgnacja skóry i jej regeneracja, jak również aromaterapia [Kaliyadan i in. 2021]. Działają także przeciwzapalnie, przeciwbakteryjnie, przeciwgrzybiczo, regenerująco czy regulująco [Czerpak i Jabłońska-Trypuć 2008]. Produkty wegańskie zazwyczaj nie wykazują działań ubocznych dla organizmu człowieka [Doyle 2016]. Należy jednak pamiętać, że kluczowe w uzyskaniu pożądanego efektu jest dawkowanie oraz sposób stosowania preparatów. Nawet najskuteczniejsze składniki aktywne nie przyniosą oczekiwanych rezultatów, jeśli nie zostaną zastosowane zgodnie z zaleceniami.

Wnioski

Trend dotyczący kultury wegańskiej jest coraz popularniejszy, mimo to, pozostaje jeszcze dużo możliwości rozwoju. Produkty na bazie substratów roślinnych są doskonałą alternatywą dla osób, które troszczą się o losy zwierząt oraz o środowisko. Powszechnie wiadomo, że weganizm jest określany jako dieta roślinna, natomiast weganie oprócz niespożywania produktów odzwierzęcych, nie wykorzystują ich także w życiu codziennym. Dlatego też w składzie produktów wegańskich nie mogą znaleźć się popularne w branży kosmetycznej składniki, takie jak miód pszczoły, wosk pszczoły, propolis, jedwab, lanolina czy też śluz ślimaka.

Kosmetyki wegańskie o naturalnym składzie złożone są na przykład z olejów, wosków, ekstraktów, maceratów, fermentów roślinnych, przy czym nie zawierają żadnych substancji odzwierzęcych. Ich bazą są naturalne woski, np. wosk sojowy, oleje i inne produkty pochodzenia roślinnego.

Podążając za szybko rozwijającą się filozofią życia, jaką jest weganizm, konsumenci sięgają po produkty wegańskie, doceniając istotność naturalnych składników wykorzystywanych w tych kosmetykach. Ze względu na fakt, że zapotrzebowanie na tego typu produkty wzrasta, można stwierdzić, że jest to kierunek bardzo rozwojowy we współczesnej branży kosmetycznej.

Bibliografia

Amato D., 2021. Vegan beauty: veganism, health and cosmetic development. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18(8), 4067, <https://doi.org/10.3390/ijerph18084067>

Arnaudin J., 2019. Plant-based beauty: the essential guide to vegan skincare and cosmetics. Aster.

Begg D., Fischer S., Dornbusch R., 2007. Mikroekonomia, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa.

Bourgeois S., Chabi S., 2019. Plant-derived mucilages in cosmetics: current research and potential. *Int. J. Cosmet. Sci.*, 17(3), 102–115.

Çankaya I.I.T., 2018. Obtaining cosmetic raw materials from the natural resources of Turkey and getting them to the industry. *Curr. Perspect. Med. Aroma. Plant.* 2, 78–89.

Choi J.W., 2019. A Study on the aesthetic characteristics of vegan fashion style in contemporary fashion. *J. Fash. Bus.* 19(5), 110–127, <http://dx.doi.org/10.12940/jfb.2015.19.5.110>

Choi M.H., Yoh E.A., 2013. Analysis on vegan fashion beauty products for development of brand strategies, fashion & text. *Res. J. Vol.* 23(1), 44–56, <https://doi.org/10.5805/SFTI.2021.23.1.44>

- Chrzastek L., Dondela B., Deska M., 2015. Bezpieczne składniki kosmetyków – lipidy i ich pochodne. *Pr. Nauk. Akad. im. Jana Długosza Częst.*, 3, 9–27, <https://dx.doi.org/10.16926/tiib.2015.03.01>
- Czerpak R., Jabłońska-Trypuć A., 2008. *Roślinne surowce kosmetyczne*. MedPharm Polska, Wrocław.
- Doyle J., 2016. Celebrity vegans and the lifestyling of ethical consumption. *Environm. Commun.* 10(6), 777–790, <https://doi.org/10.1080/17524032.2016.1205643>
- Gilbert Karen, 2020. *Natural colorants for cosmetics*, Springer, London.
- Giraud E.H., 2021. *Veganism: politics, practice, and theory*. London: Bloomsbury.
- Glinka R., 2008. *Receptura kosmetyczna*. Wydawnictwo MA Oficyna Wydawnicza, Łódź.
- Güçlü-Ustündağ Ö., Mazza G., 2007. Saponins: properties, applications and processing. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47(3), 231–258, [https://doi: 10.1080/10408390600698197](https://doi.org/10.1080/10408390600698197)
- Hirata D., Rocha E., Nogueira R.A., Rezende L., 2022. Natural and organic cosmetics: Beneficial properties for the environment and health. *IJAERS* 9(11), 276–281, [https://doi.org. 10.22161/ijaers.911.34](https://doi.org/10.22161/ijaers.911.34)
- Jabłońska-Trypuć A., Czerpak R.A., 2008. *Surowce kosmetyczne i ich składniki*. MedPharm Polska, Wrocław.
- Jędrzejko K., Kowalczyk B., Bacler B., 2012. *Rośliny kosmetyczne*. Śląska AM, Katowice.
- Kaliyadan F., Al Dhafiri M., Aatif M., 2021. Attitudes toward organic cosmetics: a cross-sectional population-based survey from the MiddleEast. *J. Cosmet. Dermatol.* 20(8), 2552–2555, [https://doi:10.1111/jocd.13909](https://doi.org/10.1111/jocd.13909)
- Kapuścińska A., Nowak I., 2015. Zastosowanie fitoestrogenów w kosmetykach przeciw starzeniu się skóry. *Chemicz.* 69(3), 154–159.
- Kim H.G., 2020. (The) Effect of consumption value for ecofriendly cosmetics on norms and purchasing behavior of female college students. *Journ. Korea. Cont. Assoc.* 21(2), 562–571, <https://doi.org/10.5392/JKCA.2021.21.02.562>.

- Kohlmünzer S., 2017. Farmakognozja. Podręcznik dla studentów farmacji, wyd. 5. Wyd. Lek. PZWL, Warszawa.
- Lamer-Zarawska E., Kowal-Gierczak B., Niedworok J., Błach-Olszewska Z., Długosz A., 2007. Fitoterapia i leki roślinne. Wyd. Lek. PZWL, Warszawa.
- Marwicka J., Gałuszka A., Kotwica M., 2021. Cosmeceuticals. Composition and effects. *Aesthetic Cosmetol. Med.* 10, 140,
<https://doi.org/10.52336/acm.2021.10.3.06>
- Murube J., 2013. Ocular cosmetics in modern times. *Ocul. Surf.* 11(2), 60–64,
<https://doi.org/10.1016/j.jtos.2013.01.005>
- Oliver C., 2021. Mock meat, masculinity and redemption narratives: vegan men's negotiations and performances of gender and eating. *Soc. Mov. Stud.* 1–18,
<https://doi.org/10.1080/14742837.2021.1989293>
- Özgen M., Scheerens J.C., Neil Reese R., Miller R.A., 2010. Total phenolic, anthocyanin contents and antioxidant capacity of selected elderberry (*Sambucus canadensis* L.) accessions. *Pharmacogn Mag.* 6, 198–203.
- Pangestuti R., Se-Kwon K., 2011. (The) Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae. *J. Funct. Foods.* 3(4), 255–266,
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.07.001>
- Saxe J.K., 2011. Biodegradability evaluation for cosmetic ingredients and finished products. *Formulating, packaging and marketing of natural cosmetic products*, 387–410. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118056806.ch20>
- Siti Zulaikha R., Sharifah Norkhadijah S.I., Praveena S.M., 2015. Hazardous ingredients in cosmetics and personal care products and health concern: a review. *Public Health Res.* 5, 7–15, <https://doi.org/10.5923/j.phr.20150501.02>
- Skorek M., 2022. Badanie składu jakościowego oraz oznaczanie właściwości chemicznych i biologicznych wybranych surowców roślinnych stosowanych w kosmetyce i farmakoterapii. Rozprawa doktorska, Uniwersytet Śląski, Katowice, 24–25.
- Szot M., 2015. Fitoestrogeny. Wpływ budowy chemicznej i mechanizmów działania hormonów roślinnych na organizm ludzki. *Kosmetol. Est.* 1(4), 29–34.

Śpiewak R., 2012. Częstość występowania chorób skóry w losowej grupie dorosłych Polaków. *Estetol. Med. Kosmetol.* 2, 50–3.

Wahan S., Khan M.M., 2018. Plant-derived hydrocolloids in cosmetics and personal care products. *Polysaccharides: Bioact. Biotechnol.* 2, 1345–1356.

Weiberg E., 2013. Psychospołeczne aspekty dermatologii estetycznej. *Dermatologia estetyczna*. Wydawnictwo PZWL, Warszawa.

Zoe D., Draelos Z.D., 2015. *Cosmetic dermatology: products and procedures*. Wiley-Blackwell, pp. 560.

Abstract

Vegan cosmetics are undoubtedly a future trend in the beauty industry, gaining popularity for many reasons. The global market for vegan cosmetics is growing at an impressive rate. The cosmetics industry is dynamically responding to the changing needs of consumers, and the increasing interest in ecology, ethical production, and healthy living creates space for innovative solutions, such as vegan cosmetic products. New technologies are constantly being introduced, enabling the creation of advanced vegan formulas. An example of this is synthetic substitutes for animal-derived ingredients (such as collagen or keratin), which are equally effective while being consistent with the idea of veganism. The aim of this work was to present the issue of vegan cosmetics. In the following chapter, natural plant-derived substances that are most commonly used in the production of vegan cosmetics are also discussed. Based on the analysis of the literature, it was found that more and more people are interested in where the products they use come from, what ingredients they contain, and what impact they have on the environment. Vegan cosmetics, which do not contain animal-derived ingredients, meet these needs. Ethical production and ingredient transparency have become key values for conscious consumers. The growing interest in these products from consumers and innovations in their production give them the potential to become a key element of the cosmetics market in the coming years.

Key words: biocosmetology, ecology, active substances

Balneokosmetyki

Balneocosmetics

Aleksandra Bartkowska-Bekasiewicz 

<https://orcid.org/0000-0001-6046-3750>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin
e-mail: aleksandra.bartkowska@up.lublin.pl

Tomasz Mieczan  <https://orcid.org/0000-0003-2839-1798>

Adam Bownik <https://orcid.org/0000-0003-3623-838X>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin

Streszczenie

Wraz ze wzrostem świadomości ekologicznej zapotrzebowanie na naturalne i zrównoważone kosmetyki także wyraźnie wzrasta. Balneokosmetyki idealnie wpisują się w ten trend, ponieważ bazują na wodach mineralnych i leczniczych borowinach. Łączą naturalne właściwości lecznicze balneoterapii z nowoczesnymi innowacjami kosmetycznymi, oferując połączenie tradycyjnych metod terapeutycznych z pielęgnacją skóry. Balneokosmetyki często zawierają wody czy sole mineralne, pochodzące z naturalnych źródeł i uzdrowisk, znanych ze swoich właściwości leczniczych. Składniki te, bogate w minerały, takie jak magnez, wapń czy siarka, od wieków są stosowane w leczeniu problemów skórnych, redukcji stanów zapalnych oraz poprawie ogólnego stanu skóry.

Na podstawie przeglądu najnowszej literatury przedstawiono krótką charakterystykę zarówno balneokosmetyków, jak i potencjału osadów torfowych, które są

wykorzystywane w tych produktach. Ich skuteczność, oparta na wieloletnich praktykach w dziedzinie balneoterapii, przyciąga współczesnych konsumentów, poszukujących efektywnych i naturalnych rozwiązań w pielęgnacji. Balneokosmetyki opierają się na tradycyjnych zabiegach uzdrowiskowych, jednak dzięki nowoczesnym osiągnięciom naukowym ich właściwości mogą być wykorzystane jeszcze skuteczniej. Badania nad leczniczymi właściwościami konkretnych minerałów oraz nowymi sposobami ich zastosowania w formułach kosmetycznych prowadzą do tworzenia zaawansowanych i ukierunkowanych produktów. To połączenie tradycji z innowacją stawia balneokosmetyki na czołowej pozycji w nowoczesnym rynku kosmetycznym.

Słowa kluczowe: biokosmetologia, kosmetyki, surowce naturalne, torf

Wstęp

Balneologia jest jedną z najstarszych dziedzin medycyny, zajmuje się badaniem surowców naturalnych oraz ich wykorzystaniem w celach leczniczych. Termin ten wywodzi się z łacińskiego słowa *balneum*, oznaczającego kąpiel, oraz od greckiego słowa *lógos*, oznaczającego naukę. Jest rozwijającym się i przyszłościowym kierunkiem, dającym liczne możliwości rozwoju, np. w branży kosmetycznej – balneokosmetologii. Wśród naturalnych składników występujących w recepturach preparatów leczniczych najczęściej wykorzystywane są wody lecznicze, borowina – torf leczniczy, minerały z Morza Martwego, a także osady torfowiskowe [Carretero 2020, Munteanu i in. 2021].

Balneologia ma swoje początki w starożytnym Egipcie i starożytnym Rzymie. Popularność zyskały wtedy terapie lecznicze, które obecnie określane są mianem balneoterapii. Miały one na celu poprawę stanu zdrowia, zmniejszenie widocznych niedoskonałości oraz umożliwienie dopasowania do ówczesnych kanonów piękna. Początkowo stosowano kąpiele lecznicze w wodzie bogatej w minerały, z dodatkiem surowców naturalnych. Następnie popularne stały się inhalacje oraz okłady. Polecano również picie wód wysoko mineralizowanych, o specyficznym składzie chemicznym, które działały regulująco na pracę układu pokarmowego, moczowego oraz pomagały w leczeniu schorzeń metabolicznych [Carretero 2020, Munteanu i in.

2021]. Rzymianie i Grecy byli prawdopodobnie pierwszymi cywilizacjami, które miały świadomość oraz podkreślały istotne znaczenie dla zdrowia ze stosowania kuracji na bazie środków naturalnych. Ze względu na fakt, że zabiegi te miały na celu poprawienie kondycji ciała, stały się pewnego rodzaju tradycją, która jest kontynuowana i w obecnych czasach praktykowana szczególnie w Europie oraz Azji [Carretero 2020]. Z czasem wiedza na temat balneologii znaczenie się poszerzyła, co umożliwiło wykorzystanie większej ilości surowców. Produkty tworzone na bazie substancji biologicznie czynnych, które można wykorzystać w trakcie balneoterapii, określane są mianem balneokosmetyków. Balneokosmetyki natomiast to preparaty kosmetyczne zawierające składniki pochodzące z balneoterapii, ale nie służące terapii leczniczej, a raczej pielęgnacji i profilaktyce. Stosowanie tych produktów jest połączeniem tradycji z nowoczesnością oraz elementów medycyny wykorzystywanej w ośrodkach leczniczych z kosmetologią [Gomes i in. 2013, Carretero 2020, Munteanu 2021].

Balneologia, balneoterapia oraz balneokosmetyki są pojęciami ściśle ze sobą połączonymi i wzajemnie się uzupełniającymi. Bardzo często w zabiegach leczniczych wykorzystywane są produkty, mające właściwości prozdrowotne, które są obecne w kosmetykach. Balneokosmetyki mogą stanowić elementy wspierające przebyte zabiegi kosmetyczne oraz stanowić kontynuację kuracji w warunkach domowych [Bąbel i Wiatr 2011]. Pierwszym zabiegiem wykorzystywanym w balneologii była hydroterapia. Polega ona na wykorzystaniu termicznych, mechanicznych oraz chemicznych działań wody, które mają za zadanie zwiększenie odporności organizmu oraz leczenie wielu chorób, np. układu krążenia czy układu mięśniowo-szkieletowego [Gomes i in. 2013, Carretero 2020]. Hydroterapia może być doskonałym wstępem do innych zabiegów kosmetycznych. Wody bogate w minerały stymulują skórę, przyspieszają mikrokrażenie, działają rozkurczowo na mięśnie, mogą nawet łagodzić bóle reumatyczne [Chowdhury i in. 2021]. Obecnie bardzo popularne są kuracje borowinowe, które wykazują działanie rozgrzewające na tkanki organizmu, przeciwzapalne, regenerujące oraz ściągające. Przyspieszają metabolizm, przez co doskonale działają antycellulitowo oraz wyszczuplająco. Balneoterapia może również obejmować wykorzystanie gazów naturalnych, takich jak tlen, dwutlenek węgla czy siarkowodór. Są to nieinwazyjne, a tym samym

niezwykle skuteczne metody leczenia, które mogą skutkować redukcją stresu oksydacyjnego [Munteanu i in. 2021].

Podczas omawiania zagadnień związanych z balneologią nie można zapomnieć o wykorzystywaniu drobnoziarnistych materiałów pochodzenia geologicznego lub biologicznego oraz związków organicznych, które powstają w wyniku biologicznej aktywności metabolicznej. Peloid jest określany mianem zawiesiny o właściwościach leczniczych lub kosmetycznych [Trusek-Holownia i Ciereszko 2018, International Peatland Society 2024]. Ze względu na swoje doskonałe właściwości jest bardzo często wykorzystywany do produkcji balneokosmetyków – ze szczególnym uwzględnieniem produktów do twarzy. Popularnym surowcem wykorzystywanym w balneologii jest torf. Charakteryzuje się bogatymi zasobami oraz długą tradycją stosowania [Liu 2022]. Surowiec ten jest doceniany na świecie, przede wszystkim dzięki swoim właściwościom leczniczym. Znajduje szerokie zastosowanie w terapii schorzeń reumatycznych, dermatologicznych oraz układu nerwowego. Torf jest bogaty w substancje organiczne, takie jak kwasy humusowe, bituminy oraz minerały, co sprawia, że ma działanie przeciwzapalne, detoksykujące i regenerujące. Stosowany w postaci kąpieeli torfowych czy okładów, pomaga poprawić krążenie, złagodzić ból oraz wspiera procesy regeneracyjne skóry i tkanek [Trusek-Holownia i Ciereszko 2018].

Zainteresowanie zabiegami leczniczymi, promowanie zdrowego trybu życia oraz większa świadomość ekologiczna przyczyniły się do tego, że balneokosmetyki stają się obiektem zainteresowania konsumentów. Z medycznego punktu widzenia stosowanie zabiegów leczniczych wykorzystujących surowce naturalne, usprawnia funkcjonowanie organizmu, natomiast z kosmetycznego punktu widzenia te same surowce pozytywnie wpływają na pielęgnację oraz odnowę biologiczną skóry. Korzystanie z naturalnych składników leczniczych może jednocześnie poprawiać zdrowie i wygląd, wspierając zarówno procesy lecznicze, jak i estetyczne [Alsaidan i in. 2015, Atkin i Londoño 2017, Muhammad i in. 2023].

Wykorzystanie torfu w kosmetyce ma istotne znaczenie ze względu na jego unikalne właściwości oraz korzyści zdrowotne i pielęgnacyjne. Będący naturalnym materiałem organicznym torf charakteryzuje się wieloma zaletami, które sprawiają, że jest

cennym składnikiem w kosmetykach. Głównym celem tej pracy jest przedstawienie istoty wykorzystania naturalnych surowców leczniczych, jakimi są osady torfowe w kosmetyce oraz określenie pozycji silnie rozwijającej się dziedziny, jaką jest balneokosmetologia.

Torf – ogólna charakterystyka

Torf jest jednym z ważniejszych lecz wciąż niedocenianych składników naturalnych. Powstaje w wyniku niepełnego rozkładu i humifikacji szczątków roślinnych pod wpływem bakterii humifikujących, grzybów, glonów oraz innych mikroorganizmów [Trusek-Holownia i Ciereszko 2018]. Jest surowcem występującym na podmokłych terenach, określanych mianem torfowisk, gdzie zachodzą procesy akumulacji osadów organicznych. Ekosystemy torfowiskowe występują na całym świecie (od Arktyki do Subantarktyki), zajmują około 4 000 000 km² i mają niezwykłą bioróżnorodność [Rydin i Jeglum 2013]. Charakteryzują się specyficzną roślinnością, która jest przystosowana do trudnych warunków, takich jak nadmiar wody, kwaśne środowisko i ubogość w składniki odżywcze. W zależności od typu torfowiska (wysokiego, przejściowego lub niskiego) występują tam różne gatunki roślin [Rydin i Jeglum 2013].

Torf jest mieszaniną szczątków roślinnych, związków organicznych, substancji mineralnych i wody. Pierwszym procesem wpływającym na skład i właściwości torfu jest humifikacja, która polega na rozkładzie i formowaniu się związków próchnicznych. Kolejnym etapem jest mineralizacja, która obejmuje rozkład substancji organicznych prowadzący do wytworzenia związków mineralnych [Andriesse 1988, Baran 2002]. Proces formowania torfu jest długotrwały, trwa tysiące lat, a torfowiska, które są jego naturalnym źródłem, stanowią ważny element ekosystemów, magazynując węgiel i regulując stosunki wodne [Falkowski 2016]. Jedną z ważniejszych właściwości fizycznochemicznych torfu jest retencja wody, która zależy od zawartości kwasów huminowych oraz umożliwia określenie przydatności torfu. Parametr ten wzrasta wraz ze wzrostem stopnia rozkładu [Baran 2002]. Kwaśny odczyn środowiska oraz wysoka zawartość materii organicznej wskazują, że torf to bogate źródło substancji organicznych, które mogą być wykorzystywane między innymi w lecznictwie. Dlatego

też osady torfowe kwalifikowane są do grupy substancji leczniczych. Stopień humifikacji, czyli stopień rozkładu torfu, przedstawia dziesięciostopniowa skala opracowana przez Van Posta. Im wyższy stopień rozkładu, tym wyższa wartość w skali, a tym samym lepsze właściwości lecznicze [Baran 2002]. Zgodnie z tymi różnicami HS (ang. humic substances) można podzielić na cztery frakcje: pierwszą są kwasy humusowe (ang. humic acids, HA) rozpuszczalne w wodzie przy wyższych wartościach pH, drugą kwasy hymatomelanowe (ang. hymatomelaninic acids, HMA) rozpuszczalne w etanolu, trzecią kwasy fulwowe (ang. fulvic acids, FA), które rozpuszczalne są w wodzie we wszystkich warunkach pH, oraz czwartą huminy – nierozpuszczalne w wodzie [Yamada i in. 2007]. Najlepsze właściwości lecznicze torfu zostały określone w stopniu humifikacji H₄-H₁₀. Aktywność biologiczna składowych torfu jest szczególnie ważna przede wszystkim w balneokosmetologii, choć surowiec ten wykorzystywany jest również w innych dziedzinach gospodarki i przemysłu. Związki humusowe są najważniejszymi związkami organicznymi występującymi w torfie, łączą się z minerałami i tworzą sole związków humusowych (kwasy fulwinowe oraz humiany) [De Melo i in. 2016]. Kwasy huminowe są natomiast najbardziej aktywnymi biologicznie składnikami torfu [Bozkurt i in. 2001, Beer i in. 2003]. Ich unikalne właściwości sprawiają, że odgrywają kluczową rolę w prozdrowotnym działaniu. Mają silne właściwości przeciwzapalne, przeciwutleniające oraz detoksykacyjne, co sprawia, że są cenione zarówno w balneologii, jak i balneokosmetologii [Zhu i in. 2015]. Substancje obecne w torfie wykazują liczne właściwości prozdrowotne. Główne grupy substancji czynnych mają potencjalne działanie przeciwbakteryjne, przeciwzapalne oraz antyoksydacyjne [Gadzhieva 1991, Neyts i in. 1992, Van Rensburg i in. 2000, Van Rensburg i in. 2002, Schepetkin i in. 2009, Avvakumova 2011, Zykova i in. 2018].

Potencjalne zastosowanie osadów torfowych w balneokosmetyce

Wraz ze wzrostem zainteresowania zdrowym stylem życia oraz ekologią zwiększyła się popularność balneokosmetologii; produkty tej grupy są oparte bezpośrednio na surowcach naturalnych, takich jak między innymi osady torfowe. Kosmetyki wytwarzane na bazie naturalnych składników aktywnych cieszą się dużą popularnością. Przede wszystkim dzięki właściwościom leczniczym

wykorzystywanych substratów. Właściwości przeciwnowotworowe, antyoksydacyjne i przeciwutleniające powodują, że jest to substrat doskonale wspomagający walkę z procesami zapalnymi [Drobnik i Stebel 2020, Wu i in. 2023]. Lecznicze działanie torfu znano także i wykorzystywano w XVIII wieku w tradycyjnej medycynie ludowej, gdzie wspomagał leczenie cukrzycy, bólów reumatycznych, trądu oraz chorób skóry. Z biegiem lat był coraz częściej wykorzystywany w różnych dziedzinach medycyny, między innymi fizjoterapii lub dermatologii, jak również kosmetologii [Van Rensburg 2015, Zykova i in. 2017]. Najpowszechniej wykorzystywaną formą torfu jest borowina. Ma szerokie zastosowanie w medycynie. Okłady borowinowe stosowane są w leczeniu chorób reumatycznych, dermatologicznych, neurologicznych oraz schorzeń narządu ruchu. Działa przeciwzapalnie, przeciwbólowo oraz regenerująco. Zabiegi z borowiny są stosowane w postaci kąpieeli czy okładów, które korzystnie wpływają na poprawę krążenia, zmniejszają stany zapalne, rozluźniają mięśnie oraz przyspieszają procesy gojenia i regeneracji tkanek [Falkowski 2016]. Nie tylko borowina, także inne formy torfu mają właściwości lecznicze i pielęgnacyjne, choć każda z nich może oferować nieco inne korzyści w zależności od swojej specyfiki [Sikora i Mazur 2017].

Jak wynika z danych literaturowych [Obmińska-Domoradzka i Stefańska-Jońca 2001] torf wpływa na wzrost aktywności neutrofili i makrofagów, wspomagając syntezę czynnika martwicy nowotworu (ang. *tumor necrosis factor alpha*, TNF- α) w ludzkich leukocytach. Ponadto badania prowadzone przez Çalıřır i in. [2016] wykazały, że kwasy huminowe działają łagodząco na stany zapalne, a także wspomagają proces gojenia się ran. Również Silamikele i in. [2015] stwierdzili, że ekstrakt torfowy z izolowanymi kwasami huminowymi wykazuje aktywność antyoksydacyjną oraz zapobiega przedwczesnej proliferacji komórek (nadmiernie wczesnemu lub niekontrolowanemu namnażaniu się komórek). Wskazuje to na fakt, że produkt wytworzony na bazie tych substratów może być wykorzystywany jako kosmetyk opóźniający starzenie się skóry. Kwasy huminowe mają także właściwości ściągające, utrzymują napięcie powierzchniowe skóry oraz działają przeciwzapalnie, co skutecznie umożliwia walkę z chorobami skóry, takimi jak łuszczyca [Wollina 2009, Klavins i Purmalis 2014]. Składniki aktywne obecne w torfie zmniejszają zaczerwienienie skóry oraz mają właściwości fotoochronne – wspomagają ochronę

przed promieniowaniem świetlnym ze względu na ich zdolność pochłaniania promieni UV [Muela i in. 2000]. Kwasy fulwowe znalazły zastosowanie w produktach kosmetycznych, zwłaszcza w kremach i maseczkach, ze względu na swoje właściwości nawilżające, przeciwzapalne oraz wspierające regenerację skóry [Canellas i Olivares 2014]. Dodatkowo są zazwyczaj dobrze tolerowane przez skórę i mogą być stosowane przez osoby o różnych typach cery, w tym wrażliwej i skłonnej do alergii. Poprawiają elastyczność skóry, przywracają jej zdrowy wygląd (zwłaszcza w przypadku skóry suchej oraz odwodnionej). Neutralizują wolne rodniki, które przyspieszają proces starzenia się skóry. Mają zdolność wiązania toksyn, co wspomaga ich usunięcie z organizmu. Działają również jako substancje przeciwbakteryjne, pomagając w leczeniu problemów skórnych, takich jak trądzik. Wspomagają regenerację komórek skóry, przyczyniając się do szybszego gojenia przerwanej ciągłości tkankowej. Kwasy fulwolowe łagodzą objawy atopowego zapalenia skóry [Wu i in. 2023]. Wykazują także działanie przeciwbakteryjne oraz antyoksydacyjne [Karpińska i in. 2017].

Do profesjonalnych zabiegów w ośrodkach odnowy biologicznej oraz uzdrowiskach branża kosmetyczna wykorzystuje produkty na bazie osadów torfowych. Balneokosmetyki zawierające substrat torfowy są produkowane głównie jako kosmetyki [Van Rensburg 2015]. Dermokosmetyki oraz kosmetyki naturalne z tej grupy przyjmują różną formę, między innymi plastrów torfowych, maści, past, kremów, emulsji do kąpieli, żeli dentystycznych, szamponów lub hydrożeli [Wollina 2009]. Najpopularniejszymi produktami są maski do twarzy i ciała, głównie o działaniu detoksykacyjnym i regeneracyjnym. Pomagają oczyszczać skórę, odblokowują pory oraz działają kojąco na stany zapalne. Torf dodawany jest także do kremów nawilżających i regeneracyjnych – pomaga w odbudowie naskórka oraz poprawia jego elastyczność i jędrność. Produkty antycellulitowe w postaci okładów oraz kremów są wzbogacone osadami torfowymi. Poprawiają mikrokrażenie, wspomagają eliminację toksyn oraz wspierają redukcję tkanki tłuszczowej z problematycznych obszarów ciała. Szampony oraz maski do włosów – nawilżają skórę głowy, redukują łupież oraz poprawiają ogólną kondycję włosów, nadając im miękkość oraz blask. Torf wykorzystywany jest również w solach do kąpieli i żelach

pod prysznic o działaniu odprężającym i oczyszczającym – wspiera regenerację skóry po wysiłku [Al Bawab i in. 2018].

Osady torfowe stanowią składowe wielu kosmetyków, natomiast najistotniejszym elementem wpływającym na działanie tych substancji w produktach jest przerób surowca. Aby zachować integralność i efektywność tych związków, ekstrakcja substancji aktywnych z torfu wymaga zastosowania odpowiednich metod technologicznych. Istnieje kilka popularnych sposobów, które stosuje się do wydobycia bioaktywnych składników torfu, np. ekstrakcja wodna lub ekstrakcja alkoholowa. Ekstrakcja wodna to najczęściej stosowana metoda, w której torf mieszany jest z wodą w określonej temperaturze, aby wydobyć z niego rozpuszczalne substancje, takie jak kwasy fulwowe, kwasy humusowe oraz minerały. Woda działa jak rozpuszczalnik, rozbijając struktury organiczne i wydobywając cenne składniki [Łapaj i Gajewska 2011]. Podczas stosowania ekstrakcji alkoholowej używa się alkoholu (zwykle etanolu lub metanolu) jako rozpuszczalnika do wyekstrahowania substancji bioaktywnych. Metoda ta jest skuteczna w rozpuszczaniu związków o charakterze lipofilowym, co pozwala na pozyskanie szerokiej gamy substancji, w tym kwasów organicznych, aminokwasów i polifenoli [Łapaj i Gajewska 2011]. Proces ekstrakcji związków czynnych z surowca jest czasochłonny, trudny oraz kosztowny. Dlatego też kosmetyki te są droższe od standardowych pozycji proponowanych w drogeriach [Orru i in. 2011]. Zazwyczaj skład balneokosmetyków opiera się na jednym dominującym składniku. Ciekawym zagadnieniem balneokosmetologii są produkty posiadające w swym składzie więcej niż jedną substancję aktywną, np. borowinę wraz z wodą siarkową. Zarówno torf, jak i woda siarkowa mają szerokie zastosowanie w pielęgnacji skóry, a ich połączenie pozwala na uzyskanie kosmetyków o silnym działaniu przeciwzapalnym, regeneracyjnym, detoksykacyjnym oraz nawilżającym [Ghersetich i in. 2001, Falkowski i Gajewska 2011]. W balneoterapii woda siarczkowa jest najczęściej stosowana w formie kąpieli. Zarówno H_2S w wodzie, jak i ten powstający z osiadającej na skórze siarki koloidalnej są wchłaniane przez nieuszkodzoną skórę. Dlatego produkt łączący te dwa elementy jest bardzo pozytywnie odbierany przez konsumentów. Natomiast nie należy zapominać, że właściwości biologiczne siarkowodoru, przy wysokiej jego zawartości w naturalnych wodach mineralnych oraz ich wpływ na gojenie się ran na

skórze, nie jest określony. Dlatego też istotne jest, aby podjąć próbę utworzenia balneokosmetyków na bazie np. torfu i wody siarkowej, w celu określenia potencjału współdziałania tych produktów [Falkowski i Gajewska 2011].

Wnioski

Biorąc pod uwagę dotychczas zgromadzoną wiedzę, balneokosmetologia (ze szczególnym uwzględnieniem osadów torfowych), pozostaje realną oraz przyszłościową alternatywą dla produktów farmaceutycznych. Nie jest dziedziną, która ma wyeliminować farmakologię, zdecydowanie może ją wesprzeć, może stanowić jej uzupełnienie w kontekście pielęgnacji skóry i leczenia niektórych schorzeń dermatologicznych. Obydwa podejścia mają różne metody działania i obszary zastosowań lecz wspólny cel, a zatem ich współistnienie wydaje się być bardzo prawdopodobne. Kosmetyki i zabiegi oparte na torfie oferują naturalne podejście do poprawy zdrowia skóry, ale ich skuteczność w wielu przypadkach pozostaje ograniczona w porównaniu z działaniem leków. Nie należy jednak zaprzepaścić potencjału naturalnego, osadów torfowych i dążyć do poszerzenia wiedzy na ich temat, w tym również ze szczególnym wykorzystaniem w balneokosmetologii.

Działanie preparatów utworzonych na bazie naturalnych surowców umożliwia uzyskanie zadowalających efektów. Ze względu na wzrost świadomości, ludzie coraz częściej rezygnują z produktów wytworzonych z syntetycznych substratów na rzecz naturalnych. Ich stosowanie stanowi przełom w leczeniu oraz profilaktyce wielu chorób ze względu na wielokierunkowe działanie poszczególnych substancji czynnych. Osady torfowe mają szerokie zastosowanie w balneokosmetyce dzięki swoim unikalnym właściwościom zarówno pielęgnacyjnym, jak i terapeutycznym. Stosowany w kąpielach, okładach, maskach oraz kremach torf oferuje nawilżenie, regenerację, działanie przeciwzapalne oraz detoksykacyjne. Balneokosmetyka czerpie korzyści z tego naturalnego surowca, oferując zarówno pielęgnację, jak i poprawę zdrowia skóry. Osady torfowe samodzielnie oraz w połączeniu z innymi substratami są wciąż niedocenianym surowcem i ich potencjał nie został do końca wykorzystany. Dlatego też poszerzenie wiedzy w tym zakresie jest niezbędne,

ponieważ kierunek ten jest niezwykle przyszłościowy oraz daje wiele możliwości rozwoju.

Bibliografia

Al Bawab A., Bozeya A., Abu-Malloug S., Abu Irmaileh B., 2018. The Dead Sea mud and salt: a review of its characterization, contaminants, and beneficial effects. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 305(1), <https://doi.org/10.1088/1757-899X/305/1/012003>

Alsaidan M., Simmons B.J., Bray F.N., Falto-Aizpurua L.A., Griffith R.D., Nouri K., 2015. Hippocrates' contributions to dermatology revealed. JAMA Dermatol. 151, 658, <https://doi:10.1001/jamadermatol.2015.0201>

Andriesse J.P., 1988. Nature and management of tropical peat soils. FAO Soils Bulletin: Rome, Italy.

Atkin M.R., Londoño M.G., 2017. Handbook of natural ingredients in cosmetics and dermatology. Nova Science Publishers. USA.

Avvakumova N.P., Gerchikov A.Y., Khairullina V.R., Zhdanova A.V., 2011. Antioxidant properties of humic substances isolated from peloids. Pharm. Chem. J. 45, 192–193, <https://doi.org/10.1007/s11094-011-0590-2>

Bąbel M., Wiatr J., 2011. Balneokosmetologia. Zastosowanie surowców naturalnych w kosmetykach. Wydawnictwo Naukowe PWN.

Baran A., 2002. Characterization of carex peat using extinction values of humic acids. Bioresour. Technol. 85, 99–101, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00072-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00072-X)

Beer A.M., Junginger H.E., Lukanov J., Sagorchev P., 2003. Evaluation of the permeation of peat substances through human skin in vitro. Int. J. Pharm. 253, 169–175, [https://doi.org/10.1016/s0378-5173\(02\)00706-8](https://doi.org/10.1016/s0378-5173(02)00706-8)

Bozkurt S., Lucisano M., Moreno L., Neretnieks I., 2001. Peat as a potential analogue for the long-term evolution in landfills. Earth Sci. Rev. 53, 95–147, [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(00\)00036-2](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(00)00036-2)

- Çalışır M., Akpınar A., Poyraz Ö., Göze F., Çınar Z., 2016. The histopathological and morphometric investigation of the effects of systemically administered humic acid on alveolar bone loss in ligature-induced periodontitis in rats. *J. Periodontal Res.* 51, 499–507, <https://doi.org/10.1111/jre.12329>
- Canellas L.P., Olivares F.L., 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chem. and Biol. Techn. in Agri.* 3, 1–11.
- Carretero M.I., 2020. Clays in pelotherapy. a review. Part I: Mineralogy, chemistry, physical and physicochemical properties. *Appl. Clay Sci.* 189, 105–526, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105526>
- Chowdhury R.S., Islam M.D., Akter K., Sarkar M.A.S., Roy T., Rahman S.T. 2021. Therapeutic aspects of hydrotherapy: a review. *Bangladesh J. Med.* 32, 138–141, <https://doi.org/10.3329/bjm.v32i2.53791>
- De Melo B.A.G., Motta F.L., Santana M.H.A., 2016. Humic acids: structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Mater. Sci. Eng. C.* 62, 967–974, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.12.001>.
- Drobnik J., Stebel A., 2020. Central European ethnomedical and officinal uses of peat, with special emphasis on the Tolpa peat preparation (TPP): An historical review. *J. Ethnopharmacol.* 246, 112–248, <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.112248>
- Falkowski T., 2016. Borowina i inne peloidy w leczeniu uzdrowiskowym. Wyd. Lek. PZWL.
- Falkowski T., Gajewska M., 2011. Borowina i jej zastosowanie w kosmetyce i lecznictwie uzdrowiskowym. Wyd. Lek. PZWL.
- Gadzhieva N.Z., Tsoř E.P., Turovskaia S.I., Ammosova I., 1991. Aktywność przeciwbakteryjna preparatu humusowego wykonanego z leczniczego błota torfowego ze złoża Dzalal Abad w Kirgistanie. *Biol. Nauk.* 10, 109–113.
- Ghersetich I., Brazzini B., Hercogova J., Lotti T., 2001. Mineral waters: Instead of cosmetics or better than cosmetics? *Clin. Dermatol.* 19(4), 478–82, [https://doi.org/10.1016/S0738-081X\(01\)00186-9](https://doi.org/10.1016/S0738-081X(01)00186-9)
- Gomes C., Carretero M.I., Pozo M., Maraver F., Cantista P., Armijo F., Legido J.L., Teixeira F., Rautureau M., Delgado R., 2013. Peloids and pelotherapy: Historical

evolution, classification and glossary. *Appl. Clay Sci.* 75–76, 28–38,
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2013.02.008>

International Peatland Society. Online: <https://peatlands.org> [dostęp: 2.09.2024].

Karpińska M., Kapała J., Raciborska A., Kulesza G., Milewska A., Mnich S., 2017. Radioactivity of natural medicinal preparations contained extracts from peat mud available in retail trade used externally. *Nat. Prod. Res.* 31, 1935–1939,
<https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1261345>

Klavins M., Purmalis O., 2014. Surface activity of humic acids depending on their origin and humification degree. *Proc. Latv. Acad. Sci. Sect. B Nat. Exact. Appl. Sci.* 67, 493–499, <https://doi.org/10.2478/prolas-2013-0083>

Łapaj B., Gajewska M., 2011. Ekstrakcja substancji humusowych z torfu metodami chemicznymi i enzymatycznymi. *Przem. Chem.* 90(5), 610–614.

Liu J.K., 2022. Natural products in cosmetics. *Nat. Prod. Bioprospect.* 12, 40,
<https://doi.org/10.1007/s13659-022-00363-y>

Muela A., García-Bringas J.M., Arana I., Barcina I., 2000. Humic materials offer photoprotective effect to *Escherichia coli* exposed to damaging luminous radiation. *Microb. Ecol.* 40, 336–344, <https://doi.org/10.1007/s002480000064>.

Muhammad A., Dendera L., Shabir G., 2023. Dermatological breakthroughs: revolutionizing skin health – advances in topical treatments, laser technologies, and immunotherapies for skin conditions and aesthetic enhancement.

Munteanu C., Rotariu M., Dogaru G., Ionescu E.V., Ciobanu V., Onose G., 2021. Mud therapy and rehabilitation – scientific relevance in the last six years, 2015–2020, systematic literature review and meta-analysis based on the PRISMA Paradigm. *Balneo PRM Res. J.* 12, 1–15, <https://doi.org/10.12680/balneo.2021.411>

Neyts J., Snoeck R., Wutzler P., Cushman M., Klocking R., Helbig B., Wang P., De Clercq E., 1992. Poly(hydroxy)carboxylates as selective inhibitors of cytomegalovirus and Herpes simplex virus replication. *Antivir. Chem. Chemother.* 3, 215–222,
<https://doi.org/10.1177/095632029200300404>

Obmińska-Domoradzka B., Stefańska-Jońca M., 2001. The Effect of a peat-based preparation on mitogen-induced proliferation of thymocytes in non-treated and

hydrocortisone-suppressed mice. *Phytomedicine*. 8, 184–192,
<https://doi.org/10.1078/0944-7113-00028>

Orru M., Übner M., Orru H., 2011. Chemical properties of peat in three peatlands with balneological potential in Estonia. *Estonian J. Earth Sci.* 60, 43–49,
<https://doi.org/10.3176/earth.2011.1.04>

Rydin H., Jeglum J.K., 2013. The biology of peatlands, 2nd edn. *Biology of habitats series*, Oxford, <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199602995.001.0001>

Schepetkin I.A., Xie G., Jutila M.A., Quinn M.T., 2009. Complement-fixing activity of fulvic acid from shilajit and other natural sources. *Phytother. Res.* 23, 373–384,
<https://doi.org/10.1002/ptr.2635>

Sikora J., Mazur A., 2017. *Innowacje w kosmetykach: torf i jego wpływ na skórę*. Wydawnictwo Kosmetyczne.

Silamikele B., Ramata-Stunda A., Muiznieks I., 2015. Method for extraction of peat active substances and use of their combination in skin regenerating cosmetic formulations.

Trusek-Holownia A., Ciereszko J. 2018. Solids removal from balneo peat extracts. *Desalination Water Treat.* 114, 69–72, <https://doi.org/10.5004/dwt.2018.22517>

Van Rensburg C.E.J., 2015. The antiinflammatory properties of humic substances: a mini review. *Phytother. Res.* 29, 791–795, <https://doi.org/10.1002/ptr.5319>

Van Rensburg C.E.J., Dekker J., Weis R., Smith T.L., Janse Van Rensburg E., Schneider J., 2002. Investigation of the anti-HIV properties of oxihumate. *Chemotherapy*. 48, 138–143, <https://doi.org/10.1159/000064919>

Van Rensburg C.E.J., Van Straten A., Dekker J., 2000. An in vitro investigation of the antimicrobial activity of oxifulvic acid. *J. Antimicrob. Chemother.* 46, 853,
<https://doi.org/10.1093/jac/46.5.853>

Wollina U., 2009. Peat: a natural source for dermatocosmetics and dermatotherapeutics. *J. Cutan. Aesthet. Surg.* 2, 17–20,
<https://doi.org/10.4103/0974-2077.53094>

Wu C., Lyu A., Shan S., 2023. Fulvic acid attenuates atopic dermatitis by downregulating CCL17/22. *Molecules*. 28, 35–37, <https://doi.org/10.3390/molecules28083507>

Yamada P., Isoda H., Han J.K., Talorete T.P.N., Yamaguchi T., Abe Y., 2007. Inhibitory effect of fulvic acid extracted from Canadian sphagnum peat on chemical mediator release by RBL-2H3 and KU812 cells. *Biosci Biotechnol Biochem*. 71(5), 1294–1305, <https://doi.org/10.1271/bbb.60702>

Zhu H., Chen X., Zhang J., 2015. Humic substances in environmental health: applications in medicine and agriculture. Elsevier.

Zykova M.V., Belousov M.V., Lasukova T.V., Gorbunov A.S., Logvinova L.A., Dygai A.M., 2017. Cardiovascular effects of high-molecular-weight compounds of humic nature. *Bull. Exp. Biol. Med*. 163, 206–209, <https://doi.org/10.1007/s10517-017-3767-1>

Zykova M.V., Schepetkin I.A., Belousov M.V., Krivoshechekov S.V., Logvinova L.A., Bratishko K.A., Yusubov M.S., Romanenko S.V., Quinn M.T., 2018. Physicochemical characterization and antioxidant activity of humic acids isolated from peat of various origins. *Molecules*. 23, 753, <https://doi.org/10.3390/molecules23040753>

Abstract

With the rise in environmental awareness, the demand for natural and sustainable cosmetics is growing rapidly. Balneocosmetics fit perfectly into this trend as they are based on mineral waters and therapeutic muds. They combine the natural healing properties of balneotherapy with modern cosmetic innovations, offering a unique blend of traditional therapeutic methods with modern skincare. Balneocosmetics often contain mineral-rich waters or salts sourced from natural springs and spas, known for their healing properties. These ingredients, rich in minerals such as magnesium, calcium, and sulfur, have been used for centuries to treat various skin problems, reduce inflammation, and improve overall skin health.

Based on a review of the latest literature, a brief characterization of both balneocosmetics and the potential of peat deposits is presented. Their effectiveness,

rooted in long-standing balneotherapy practices, attracts modern consumers who are looking for effective and natural skincare solutions. The foundation of balneocosmetics lies in traditional spa treatments, but modern scientific advancements allow for even more effective use of their properties. Research into the therapeutic benefits of specific minerals and new ways of incorporating them into cosmetic formulas has led to the creation of increasingly advanced and targeted products. This combination of tradition and innovation places balneocosmetics at the forefront of the modern cosmetics market.

Key words: biocosmetology, cosmetics, natural raw materials, peat

Mleko i serwatka jako naturalne składniki kremów

Milk and whey as natural ingredients of creams

Aneta Brodziak  <https://orcid.org/0000-0002-8439-796X>

Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin

Jolanta Król  <https://orcid.org/0000-0002-6289-3153>

Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin
e-mail: jolanta.krol@up.lublin.pl

Mirosława Chwil  <https://orcid.org/0000-0001-5912-5324>

Katedra Botaniki i Fizjologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Akademicka 15, 20–950 Lublin

Streszczenie

Białka mleka, w tym głównie serwatkowe, mogą być wykorzystane w innowacyjnych metodach regeneracji tkanek i problemach dermatologicznych. Stanowią związki bioaktywne o udowodnionym wielkokierunkowym oddziaływaniu na organizm, jak też są bogatym źródłem peptydów i aminokwasów egzogennych. Są naturalnym biomateriałem wykorzystywanym współcześnie w innowacyjnych produktach kosmetycznych dedykowanych do skóry, w tym twarzy. Białka te wykazują udowodnione oddziaływanie na skórę w szerokim spektrum, między innymi odżywcze, nawilżające, wygładzające, przeciwdrobnoustrojowe, przeciwutleniające i przeciwstarzeniowe. Mają także zastosowanie lecznicze, wspomagają gojenie się

ran oraz leczenie trądziku, atopowego zapalenia skóry i łuszczycy. Wpływają także na teksturę czy zapach kremu. Na rynku dostępne są kremy do twarzy na bazie mleka koziego, owczego, klaczy, wielbłądniego, jak też zawierające serwatkę z mleka krowiego lub białko w czystej postaci – laktoferynę.

Słowa kluczowe: białka mleka, białka serwatkowe, aminokwasy, kosmetyki do twarzy

Mleko i serwatka

Mleko jest surowcem pochodzenia zwierzęcego, pozyskiwanym głównie od krów, bawolic, kóz i owiec. Zgodnie z Rozporządzeniem nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej pojęcie „mleko surowe” oznacza „mleko uzyskane z gruczołów mlecznych zwierząt gospodarskich, które nie zostało podgrzane do temperatury powyżej 40°C, ani nie zostało poddane żadnej innej obróbce o równoważnym skutku”. Stąd też stosowanie określeń „mleko owsiane”, „mleko migdałowe” (itp.) odnoszących się do składu kosmetyków wegańskich nie jest zgodne z tą definicją.

Tabela 1. Zawartość białek serwatkowych w mleku człowieka i wybranych zwierząt [Król i in. 2012]

Rodzaj	Ogółem (g/l)	β -lakto-globulina (g/l)	α -lakto-albumina (g/l)	Immuno-globuliny G (mg/l)	Laktoferyna (mg/l)	Lizozym (mg/l)
Człowiek	6,7–7,6	–	2–3	40–54	700–2000	100–890
Krowa	6,3–6,5	3,2–4,0	0,6–1,7	100–800	80–500	0,37–0,60
Koza	6,1	2,2–3,3	1,0–1,4	100–400	98–150	0,25
Owca	10,8	6,6	1,2	500	140	1–4
Klacz	8,3	2,1–3,0	2,3–2,5	390	820	400–890
Wielbłąd	bd	bd	0,4–0,6	2000	200–728	0,73–5,0

bd – brak danych

Mleko stanowi cenne źródło składników odżywczych, a jego właściwości pielęgnacyjne doceniane były już w starożytności. Białkom występującym w mleku – kazeinie i białkom serwatkowym – przypisuje się liczne właściwości prozdrowotne. Białka serwatkowe stanowią 15–20% białka ogólnego w mleku krowim, zaś pozostała część to kazeina [Kazimierska i Kalinowska-Lis 2021, Stobiecka i in. 2021, Molik i Kotowicz 2023]. W tabeli 1 przedstawiono zawartość białek serwatkowych w mleku różnych gatunków zwierząt – najwięcej tych białek zawiera mleko owcze.

Białka serwatkowe składają się głównie z β -laktoglobuliny, α -laktoalbuminy, glikomakropeptydu, immunoglobuliny, albuminy osocza, laktoferyny, laktoperoksydazy, ale również lizozymu, cytokin i laktoferycyny [Król i in. 2014, Brodziak i in. 2017]. Charakteryzują się dużą wartością energetyczną, dzięki wysokiej zawartości aminokwasów egzogennych [Prokopowicz i Różycki 2017]. Na skalę przemysłową białka serwatkowe pozyskuje się z serwatki, która powstaje jako produkt uboczny w przemyśle mleczarskim przy produkcji serów. Dawniej serwatkę uznawano za odpad uciążliwy dla środowiska, wlewano ją bowiem do rzek czy zbiorników wodnych w pobliżu zakładów. Obecnie wzrosło zapotrzebowanie na różnego rodzaju białka. Białka odpadowe, w tym białka serwatkowe zawarte w serwatce, mogą być wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu, a szczególnie w nowych zastosowaniach w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym [Luo i Wang 2016, Ganju i Gogate 2017, León-López i in. 2022, Dai i Hansenne-Cervantes 2024, Jiang i in. 2024]. Białka te można wykorzystać jako biomateriał przy opracowywaniu innowacyjnych metod, m.in. regeneracji tkanek [Dziadek i in. 2021, Płatania i in. 2021, Gawel i in. 2023, Genç i in. 2023, Pino i in. 2024]. Ze względu na szeroki zakres bioaktywności, a także biodegradowalności mogą stanowić surowiec wykorzystany w naturalnych, nowatorskich metodach pielęgnacji skóry i terapii różnych problemów dermatologicznych [Albaugh i in. 2017, Pino i in. 2024, Pillai i in. 2024, Sompochpruetikul i in. 2024, Wang i in. 2024]. Dawniej wykorzystywano w kosmetyce mleko i serwatkę w formie nieprzetworzonej, natomiast współcześnie w krajach rozwiniętych znajdują zastosowanie głównie hydrolizaty i koncentraty białek mleka. Są to bezpieczne i funkcjonalne składniki kosmetyków.

Prozdrowotne właściwości białek mleka a problemy dermatologiczne

Białkom serwatkowym przypisuje się liczne właściwości prozdrowotne. Przykładowo β -laktoglobulina stanowi nośnik witamin czy potencjalny przeciwutleniacz, α -laktoalbumina jest nośnikiem wapnia i ma potencjalne właściwości przeciwnowotworowe, zaś laktoferyna uczestniczy w transporcie żelaza i regulacji wzrostu komórek, ma właściwości przeciwdrobnoustrojowe (przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe i przeciwgrzybicze), stanowi także specyficzną ochronę immunologiczną. Ponadto białka te są prekursorami bioaktywnych peptydów. Stanowią także źródło aminokwasów. Przekłada się to na ich zastosowanie w kosmetykach, m.in. w kremach [Król i in. 2014, Brodziak i in. 2017, Stobiecka i in. 2021, Molik i Kotowicz 2023].

Serwatka może być stosowana jako środek nawilżający, myjący, a nawet tonizujący skórę. Białka serwatkowe o małej masie cząsteczkowej mogą wnikać w głębsze warstwy skóry, nawilżając i odżywiając. z kolei białka o większej masie cząsteczkowej zapobiegają utracie wody poprzez tworzenie tzw. filmu okluzyjnego [Kazimierska i Kalinowska-Lis 2021, Iqbal i in. 2024]. Ponadto białka te stanowią składnik przeciwutleniający w preparatach przeciwzmarszczkowych. Wpływają także na wygładzenie skóry, złagodzenie podrażnień, oczyszczenie, zmniejszenie uczucia tłustości, jak i poprawę pigmentacji. Wspomagają również ochronę przed czynnikami zewnętrznymi [Kazimierska i Kalinowska-Lis 2021, Iqbal i in. 2024, Xie i in. 2024]. Według wyników badań Xie i in. [2024] laktoferyna poprawiała barierę skórną przy stężeniu wyższym niż 1,5 mg/ml, jednocześnie wykazując działanie przeciwzapalne i nawilżające. Zaleca się stosowanie miejscowe laktoferyny przy występowaniu przebarwień skóry, będących konsekwencją wybroczyn krwawych po urazach, zabiegach i operacjach. W laktoferynie upatruje się również źródła peptydów o aktywności przeciwbiofilmowej w stosunku do gatunków *Staphylococcus* związanych ze skórą [Quintieri i in. 2020, Jańczuk i in. 2023]. Istnieje bowiem możliwość kontrolowania powstawania biofilmu bakteryjnego w połączeniu z dobrymi praktykami pielęgnacji skóry. Z kolei Chen i in. [2006] wykazali, że składniki kefiru

(serwatka kefirowa, peptydy i kwas mlekowy) działały pielęgnacyjnie na skórę, dodatkowo ją rozjaśniając.

Serwatka jest również stosowana jako środek przeciwtrądzikowy. Działanie to wynika z przeciwbakteryjnego charakteru niektórych białek serwatkowych, tj.

laktoperoksydazy, laktoferyny i lizozymu. Warto jednak zaznaczyć, że główne białka serwatkowe, zawierające kazeinę oraz α -laktoalbuminę i β -laktoglobulinę, które odpowiadają za insulinotropowe działanie mleka, mogą przyczyniać się do rozwoju trądziku w większym stopniu niż sama zawartość tłuszczu lub produktów mlecznych [Baldwin i Tan 2021]. Białka mleka (laktoperoksydaza i laktoferyna) stosowane są również jako naturalne konserwanty kosmetyków, w tym kremów i maści [Król i in. 2014, Ciccognani 2016].

Białka serwatkowe stanowią źródło biologicznie aktywnych związków chemicznych, w tym peptydów, jak i egzogennych aminokwasów, m.in. argininy, glicyny, leucyny, izoleucyny, proliny, hydroksyproliny i waliny, niezbędnych do prawidłowego przebiegu procesu gojenia [Pino i in. 2024]. Proces ten wymaga udziału wielu szlaków biochemicznych prowadzących do biosyntezy kolagenu, w których uczestniczą na przykład prolina i hydroksyprolina, niezbędne do powstawania kolagenu o prawidłowej strukturze i wytrzymałości. Ich cykliczna struktura ogranicza rotację polipeptydowego łańcucha kolagenowego, tworząc i wzmacniając helisę [Albaugh i in. 2017]. Inne aminokwasy (glutamina, glutaminian, arginina i ornityna) mogą być przekształcone w prolinę – składniki kolagenu. Glutamina jest kluczowa dla wielu komórek, m.in. dla fibroblastów, limfocytów, makrofagów i neutrofili, które uczestniczą w gojeniu się ran [Albaugh i in. 2017, Tapiero i in. 2002]. Prolina działa przeciwstarzeniowo, redukuje zmarszczki i uczestniczy w syntezie kolagenu jako substrat. Ponadto wzmacnia stawy, ścięgna i mięsień sercowy. Wraz z arginina stymuluje proces gojenia się ran. Arginina stanowi ważny czynnik podtrzymujący aktywność komórek NK (ang. *natural killer*), które wydzielają znaczne ilości cytokin aktywnych w proliferacji komórek, m.in. interferon- γ . Ważne dla procesu gojenia się ran są nie tylko arginina i glicyna, ale szczególnie aminokwasy rozgałęzione – leucyna, izoleucyna i walina, wspomagające gojenie się skóry, tkanek mięśniowych, jak i kości [Kazimierska i Kalinowska-Lis 2021].

Białka mleka a cechy fizyczne kremów

Białka serwatkowe charakteryzują się właściwościami funkcjonalnymi, tj. dobrą rozpuszczalnością, zdolnością do tworzenia emulsji i trwałych pian oraz żelowania, wpływając na cechy kosmetyku [Mehra i in. 2021]. Koncentrat białek serwatkowych – w połączeniu z chitozanem oraz z olejem z jojoba i olejem z awokado – może być stosowany do modyfikowania zachowania termoreaktywnego i reologicznego produktu [Speer i Amin 2022]. Co więcej białka serwatkowe jako środek filmotwórczy absorbują na powierzchni aromaty i utrwalają zapachy wyrabianych kosmetyków [Turchiuli i Dumoulin 2019].

Kremy zawierające mleko i serwatkę

Ostatnio wzrosło zainteresowanie klientów kremami dedykowanymi do pielęgnacji skóry twarzy, zarówno dla dzieci, kobiet, jak i mężczyzn, zawierających w składzie mleko lub jego składniki, np. wyizolowane białka serwatkowe, jak laktoferyna, ale także serwatkę. W tabeli 2 zamieszczono przykładowe produkty zawierające komponent mleczny/serwatkowy.

Tabela 2. Wybrane dostępne na rynku kremy do twarzy zawierające komponent mleczny/serwatkowy zadeklarowany na opakowaniu (niepublikowane badania własne)

Składnik kosmetyczny	Nazwa handlowa kremu	Producent
Mleko kozie	Kozie mleko	Ziaja
	Vollare kozie mleko	Vollare Cosmetics
	Krem do twarzy kozie mleko i katalpa	Szeptuchowo
	Krem z koziego mleka	Putorius
	Krem łagodzący do twarzy i ciała dla niemowląt	Lili&Mu, Nutridome

Składnik kosmetyczny	Nazwa handlowa kremu	Producent
Mleko ośle	Krem do twarzy z mlekiem oślim La Dispensa	Delicato D'Asina
	Krem do twarzy BIO z oślim mlekiem	Galeo
	Śródziemnomorskie ośle mleko nawilżający krem odżywczy	Korres
Mleko kłaczy	Krem z mlekiem kłaczy	Genactiv
	Krem z mlekiem kłaczy dla skóry z problemami	Bewell Polska
	Krem z mlekiem kłacz	Brabanderhof
Mleko wielbłąda	Krem do twarzy i ciała z mlekiem wielbłąda OUD 100%, naturalny skarb Egiptu	EgySever
Kompleks aktywny serwatki, kwas mlekowy	Natychmiastowy krem intensywnie nawilżający z bioserwatką i mocznikiem 5%	Bioturm
Serwatka	Oaza mleka krem do twarzy na bazie serwatki z mleka górskiego z kwasem hialuronowym	L'Oasi del Latte
	Krem do golenia (kompleks substancji aktywnych z bioserwatką)	Bioturm
Laktoferyna	Lipidowy krem ochronno-odżywczy z aminokwasami i laktoferyną	Supremelab, Bielenda Profesional
	Krem naprawczy z ceramidami Solve On	Health Labs Care
	Krem Acnex do skóry trądzikowej	Farmina
	Serum do twarzy ozonowe, dotleniająco-nawilżające Skin O3zone	Bielenda

Wnioski

1. Białka mleka, w tym białka serwatkowe, stanowią biomateriał wykorzystywany współcześnie w innowacyjnych produktach kosmetycznych dedykowanych do skóry.
2. Białka te wykazują wielokierunkowe działanie na skórę, w tym pielęgnujące, odżywcze, nawilżające, wygładzające, przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe,

jak też lecznicze, tj. uczestniczą w procesie gojenia się ran, leczenia atopowego zapalenia skóry czy łuszczycy.

3. Będąc źródłem aminokwasów egzogennych, wspomagają syntezę elastyny i kolagenu w skórze, co przekłada się na ich działanie przeciwstarzeniowe.

4. Białka mleka wpływają na teksturę i zapach kremu.

Bibliografia

Albaugh V.L., Mukherjee K., Barbul A., 2017. Proline precursors and collagen synthesis: biochemical challenges of nutrient supplementation and wound healing. *J. Nutr.* 147(11), 2011–2017, <https://doi.org/10.3945/jn.117.256404>

Baldwin H., Tan J., 2021. Effects of diet on acne and its response to treatment. *Am. J. Clin. Dermatol.* 22, 55–65, <https://doi.org/10.1007/s40257-020-00542-y>

Brodziak A., Król J., Barłowska J., 2017. Mleko i produkty mleczne źródłem składników biologicznie czynnych. *Przem. Spoż.* 71(10), 8–13, <http://dx.doi.org/10.15199%2F65.2017.10.2>

Chen M.J., Liu J.R., Sheu J.F., Lin C.W., Chuang C.L., 2006. Study on skin care properties of milk kefir whey. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 19(6), 905–908, <https://doi.org/10.5713/ajas.2006.905>

Ciccognani D.T., 2016. Cosmetic preservation using enzymes. W: *Cosmetic and drug microbiology*. CRC Press, Boca Raton, USA, pp. 207–226.

Dai L., Hansenne-Cervantes I., 2024. Protein-based materials in cosmetics. W: Maia F.R., Oliveira J.M., Reis R.L. (red.), *Handbook of the Extracellular Matrix: Biologically-Derived Materials*. Springer Nature, Cham, Switzerland, pp. 357–379, <https://link.springer.com/referencework/10.1007/978-3-031-56363-8>

Dziadek M., Charuza K., Kudlackova R., Aveyard J., D'Sa R., Serafim A., Stancu I.C., Iovu H., Kerns J.G., Allinson S., Dziadek K., Szatkowski P., Cholewa-Kowalska K., Bacakova L., Pamula E., Timothy E.L., Douglas T.E., 2021. Modification of heat-induced whey protein isolate hydrogel with highly bioactive glass particles results in

promising biomaterial for bone tissue engineering. *Mater. Design* 205, 109749, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109749>

Ganju S., Gogate P.R., 2017. A review on approaches for efficient recovery of whey proteins from dairy industry effluents. *J. Food Eng.* 215, 84–96, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.07.021>

Gaweł M., Domalik-Pyzik P., Douglas T.E., Reczyńska-Kolman K., Pamuła E., Pielichowska K., 2023. The effect of chitosan on physicochemical properties of whey protein isolate scaffolds for tissue engineering applications. *Polymers* 15(19), 3867, <https://doi.org/10.3390/polym15193867>

Genç H., Friedrich B., Alexiou C., Pietryga K., Cicha I., Douglas T.E., 2023. Endothelialization of whey protein isolate-based scaffolds for tissue regeneration. *Molecules* 28(20), 7052, <https://doi.org/10.3390/molecules28207052>

Iqbal M., Farooq S., Hussain A., 2024. Advances in protein-and lipid-based materials for cosmetic applications. W: Bandara N., Ullah A. (red.) *Functional materials from lipids and proteins*. Royal Society of Chemistry, pp. 280–318, <https://doi.org/10.1039/9781839167980-00280>

Jańczuk A., Brodziak A., Czernecki T., Król J., 2023. Lactoferrin – The health-promoting properties and contemporary application with genetic aspects. *Foods* 12(1), 70, <https://doi.org/10.3390/foods12010070>

Jiang L., Zhang Z., Qiu C., Wen J., 2024. A review of whey protein-based bioactive delivery systems: design, fabrication, and application. *Foods* 13(15), 2453, <https://doi.org/10.3390/foods13152453>

Kazimierska K., Kalinowska-Lis U., 2021. Milk proteins – their biological activities and use in cosmetics and dermatology. *Molecules* 26(11), 3253, <https://doi.org/10.3390/molecules26113253>

Król J., Brodziak A., Litwińczuk A., Litwińczuk Z., 2012. Białka serwatkowe – znaczenie, pozyskiwanie, czynniki kształtujące ich zawartość. W: Zieliński E., Żuchowski J. (red.) *Wybrane aspekty jakości żywności*. Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji, Radom, pp. 131–139.

- Król J., Brodziak A., Zaborska A., 2014. Białka serwatkowe jako naturalne surowce w przemyśle kosmetycznym. *Pol. J. Cosmetol.* 17(2), 96–102.
- León-López A., Pérez-Marroquín X.A., Estrada-Fernández A.G., Campos-Lozada G., Morales-Peñaloza A., Campos-Montiel R.G., Aguirre-Álvarez G., 2022. Milk whey hydrolysates as high value-added natural polymers: functional properties and applications. *Polymers* 14(6), 1258, <https://doi.org/10.3390/polym14061258>
- Luo Y., Wang T., 2016. Pharmaceutical and cosmetic applications of protein by-products. W: Dhillon G.S. (red.) *Protein byproducts. Transformation from environmental burden into value-added products*. 1st edition. Academic Press, London, UK, pp. 147–160.
- Mehra R., Kumar H., Kumar N., Ranvir S., Jana A., Buttar H.S., Telesy I.G., Awuchi C.G., Okpala C.O.R., Korzeniowska M., Guiné R.P.F., 2021. Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *J. Funct. Foods* 87, 104760, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104760>
- Molik E., Kotowicz G., 2023. Substancje bioaktywne mleka koziego wykorzystywane w medycynie i farmacji. *Rocz. Nauk. Zoot.* 50(1), 3–12, <https://doi.org/10.58146/14c7-a623>
- Pillai A.T., Morya S., Kasankala L.M., 2024. Emerging trends in bioavailability and pharma-nutraceutical potential of whey bioactives. *Int. J. Nutr. Metab.* 2024, <https://doi.org/10.1155/2024/8455666>
- Pino P., Vigani B., Valentino C., Ianev D., Ruggeri M., Boselli C., Cornaglia I., Grisoli P., Onida B., Bosco F., Sandri G., Rossi S., 2024. Sustainable whey proteins-nanostructured zinc oxide-based films for the treatment of chronic wounds: new insights from biopharmaceutical studies. *Int. J. Biol. Macromol.* 263(1), 130655, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130655>
- Platania V., Douglas T.E., Zubko M.K., Ward D., Pietryga K., Chatzinikolaidou M., 2021. Whey protein isolate hydrogels enriched with antimicrobial phloroglucinol for tissue engineering. *Mater. Sci. Eng. C* 129, 112412, <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112412>

Prokopowicz M., Różycki K.M., 2017. Innovation in cosmetics. *World Sci. News* 72(2017), 448–456.

Quintieri L., Caputo L., Monaci L., Cavalluzzi M.M., Denora N., 2020. Lactoferrin-derived peptides as a control strategy against skinborne staphylococcal biofilms. *Biomedicines* 8(9), 323, <https://doi.org/10.3390%2Fbiomedicines8090323>

Rozporządzenie (WE) Nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. ustanawiające szczególne przepisy dotyczące higieny w odniesieniu do żywności pochodzenia zwierzęcego, *Dz.U. L* 139 z 30.4.2004, str. 55.

Sompoehpruetikul K., Khongcharoensombat T., Chongpison, Y., Rittirongwattana W., Asawanonda P., Noppakun N., Kumtornrut C., 2024. Whey protein and male acne: a double-blind, randomized controlled trial. *J. Dermatol.* 51, 1022–1025, <https://doi.org/10.1111/1346-8138.17109>

Speer S., Amin S., 2022. Sustainable thermoresponsive whey protein-and chitosan-based oil-in-water emulsions for cosmetic applications. *Int. J. Cosmet. Sci.* 44(1), 30–41, <https://doi.org/10.1111/ics.12752>

Stobiecka M., Król J., Brodziak A., Wajs J., 2021. Characteristics of milk from different species of farm animals with special emphasis on health-promoting ingredients. *Acta Sci. Pol. Zootechnica* 20(3), 85–96, <https://doi.org/10.21005/asp.2021.20.3.12>

Tapiero H., Mathé G., Couvreur P., Tew K.D., 2002. Dossier: Free amino acids in human health and pathologies. II. Glutamine and glutamate. *Biomed. Pharmacother.* 56(9), 446–457, [https://doi.org/10.1016/S0753-3322\(02\)00285-8](https://doi.org/10.1016/S0753-3322(02)00285-8)

Turchiuli C., Dumoulin E., 2019. Encapsulation of aroma. W: Mishra M.K. (red.) *Applications of encapsulation and controlled release*. CRC Press., pp. 309–341.

Wang D., Zhou Y., Zhao J., Ren C., Yan, W., 2024. Oral yak whey protein can alleviate UV-induced skin photoaging and modulate gut microbiota composition. *Foods* 13(16), 2621, <https://doi.org/10.3390/foods13162621>

Xie T., Qiao W., Jia T., Kaku K., 2024. Skin care function of lactoferrin was characterized using recombinant human epidermal model. *Cosmetics* 11(3), 98, <https://doi.org/10.3390/cosmetics11030098>

Abstract

Milk proteins, mainly whey proteins, can be used in innovative methods of tissue regeneration and dermatological problems. They are bioactive compounds with proven multidirectional effects on the body and a rich source of peptides and exogenous amino acids. They are a natural biomaterial used nowadays in innovative cosmetic products dedicated to the skin, including the face. These proteins have proven effects on the skin in a wide spectrum, including nourishing, moisturizing, smoothing, antimicrobial, antioxidant, and generally anti-aging properties. They also have medicinal uses, as they support wound healing and the treatment of acne, atopic dermatitis, and psoriasis. Milk proteins also influence the texture and aroma of creams. There are facial creams available on the market based on goat, sheep, mare, or camel milk as well as products containing whey from cow milk or pure protein – lactoferrin.

Key words: milk proteins, whey proteins, amino acids, facial cosmetics

Śluz ślimaka – działanie i zastosowanie w kosmetykach

Snail slime – its action and application in cosmetics

Anna Kasprzyk  <https://orcid.org/0000-0003-0101-2196>

Katedra Hodowli Zwierząt i Doradztwa Rolniczego, Uniwersytet Przyrodniczy
w Lublinie, ul. Akademicka 13, 20–950 Lublin

e-mail: anna.kasprzyk@up.lublin.pl

Streszczenie

W ostatnim czasie nastąpił wzrost zainteresowania naturalnymi surowcami wykorzystywanymi w przemyśle kosmetycznym. Jednym z nich jest śluz ślimaka. Celem pracy było określenie działania i zastosowania śluzu ślimaka, jako źródła bioaktywnych związków chemicznych, w produktach kosmetycznych na podstawie przeglądu literatury naukowej. Biologicznie aktywne związki chemiczne o właściwościach prozdrowotnych dla skóry człowieka są zawarte przede wszystkim w warstwie śluzu zwanej kryptozyną. Metabolity te działają: antyoksydacyjnie, fotoprotekcyjnie, nawilżająco, przeciwzapalnie, kondycjonująco, rozświetlająco, regenerująco, złuszczaająco, wygładzająco i przeciwbakteryjnie. Ponadto stymulują produkcję kolagenu i elastyny, łagodzą stany zapalne i podrażnienia oraz redukują rozstępy i blizny.

Słowa kluczowe: *Cornu aspersum*, kryptozyna, biologicznie aktywne związki chemiczne

Wstęp

Wzrost zainteresowania naturalnymi surowcami wykorzystywanymi w przemyśle kosmetycznym odnotowano w Europie pod koniec XX wieku [Theerawattanawit i in. 2021, Wojnarowicz i in. 2021]. Jednym z naturalnych surowców zwierzęcych jest śluz ślimaków. Wartość światowego rynku kosmetyków zawierających w swym składzie śluz ślimaka w 2022 r. wyniosła ponad 500 mln dolarów amerykańskich [Liegertová i Malý 2023], a do roku 2034 przewiduje się wzrost tej kwoty do 2,93 miliarda [Oscherwitz i in. 2024]. Obecnie helikokultura jest bardzo ważną działalnością, prowadzoną w wielu krajach w celu pozyskania śluzu, stanowiącego cenny surowiec kosmetyczny [Singh i in. 2024]. Głównymi producentami ślimaków są: Chiny, Hiszpania, Indonezja, Maroko i Rumunia [Zhu i in. 2024]. Hodowle ślimaków są ściśle kontrolowane, aby zapewnić czystość i wysoką jakość oraz bezpieczeństwo otrzymywanego surowca.

Celem pracy było przedstawienie działania i zastosowania śluzu ślimaka jako źródła bioaktywnych związków chemicznych, w produktach kosmetycznych, na podstawie przeglądu dostępnej literatury naukowej.

Skład śluzu ślimaka i biologicznie aktywne związki chemiczne

Śluz ślimaka jest cennym surowcem kosmetycznym [Di Filippo i in. 2024]. Zawiera biologicznie aktywne związki chemiczne o prozdrowotnych właściwościach terapeutycznych dla skóry człowieka [Marchlewicz i in. 2024]. Ślimak produkuje dwa rodzaje śluzów: limozynę oraz kryptozynę. Śluz, który najczęściej widzimy, ma postać lepkiej, przezroczystej wydzieliny, zwany jest limozyną [Liegertová i Malý 2023, Zhu i in. 2024]. Mniej widoczny, gęsty i pianisty śluz to kryptozyna, która chroni delikatne ciało ślimaka i regeneruje je, gdy zostanie uszkodzone podczas przemieszczania się. Służy również do regulacji termicznej i nawadniania ciała ślimaka [Kim i in. 2022]. Ze względu na swoje właściwości kryptozyna znajduje zastosowanie w kosmetologii i medycynie [Kuczkowski 2024].

Śluz ślimaka ma gęstość 102 g/ml [Singh i in. 2024]. Charakteryzuje się kwaśnym odczynem (pH około 4,80), ponieważ występują w nim kwasy octowy, cytrynowy i mlekowy [Errajouani i in. 2023]. Głównym składnikiem śluzu jest woda (90–99,7%) [Rashad i in. 2023], a pozostała część (0,3–10%) to mieszanina wielu substancji czynnych [Wargala i in. 2023]. Śluz jest surowcem kosmetycznym, zawierającym wiele składników korzystnych dla skóry człowieka, są to m.in. białka (takie jak kolagen i elastyna) [Zuchowski i Nowicka-Zuchowska 2019], α-hydroksykwas (kwas glikolowy i mlekowy), alantoina [Cilia i Frantini 2018], polifenole, witaminy (A, E, C, B3, B3, B12) [Herman i in. 2024], cukry [Gunia-Krzyżak i in. 2021], inhibitory proteaz, lizozym, minerały (miedź, żelazo, cynk i mangan) [Wargala i in. 2023, Lopes i in. 2024, Kuczkowski 2024]. Badania wykazały, że śluz ślimaka zawiera również polisacharydy (glikozaminoglikany) [Zhu i in. 2024]. Glikozaminoglikany można podzielić na cztery główne kategorie: heparyna/siarczan heparyny (Hp/HS), siarczan chondroityny/siarczan dermatanu (CS/DS), siarczan keratanu (KS) i kwas hialuronowy (HA) [El Mubarak i in. 2013]. Do składników polisacharydowych śluzu ślimaka *Achatina fulica* należą: glikozaminoglikan/siarczan acharanu 29 kDa, polisacharyd kwasowy 23,84 kDa, glikozaminoglikan 118 kDa, polisacharyd SMG 334,3 kDa, dekstran AFPS-IB 128 kDa, polisacharyd 4549 kDa, hydrolizowany polisacharyd 1710 kDa [Zhu i in. 2024].

Proteomiczne badania pozwoliły na identyfikację ponad 2800 peptydów w śluzie siedmiu gatunków ślimaków [Liegertová i Malý 2023]. Większość peptydów zawiera glicynę, prolinę, tryptofan i walinę oraz serynę, kwas asparaginowy i kwas glutaminowy [Zhu i in. 2024]. Śluz z *Cryptomphalus aspersa* (ślimaka znanego również jako *Helix aspersa*) i *Achatina fulica* zawiera glikoproteiny (mucynę, achacynę, achatynę, mitamycynę AF) [Cilia i Frantini 2018, Wargala i in. 2023], enzymy – S-transferazę glutationu (GST) i dysmutazę ponadtlenkową (SOD) [Cilia i Frantini 2018, Rashad i in. 2023]. Śluz ślimaka jest unikatowym naturalnym produktem, oferującym różnorodną kombinację składników. Na zawartość powyższych substancji wpływa wiele czynników, m.in. gatunek ślimaka, środowisko (temperatura, wilgotność, warunki glebowe i zaopatrzenie w żywność) [Errajouani i in. 2023], sezon i metoda pobierania [Di Filippo i in. 2024].

Właściwości śluzu ślimaka

Właściwości biochemiczne i efekty biologiczne śluzu ślimaka zostały przedstawione jedynie w nielicznych badaniach naukowych. Jednym ze składników śluzu ślimaka jest alantoina (tab. 1). Alantoina (5-ureidohydantoina) stymuluje gojenie ran, prawdopodobnie poprzez hamowanie chemotaksji komórek zapalnych w miejscu rany i indukowanie proliferacji fibroblastów, które są kluczowe dla procesu gojenia ran [Zhu i in. 2024]. Pod wpływem śluzu ślimaka fibroblasty migrują do miejsca, w którym skóra uległa uszkodzeniu. Alantoina stymuluje regenerację komórek, minimalizując widoczność blizn [Dinica i in. 2021, Rashad i in. 2023] oraz wykazuje działanie przeciwzapalne [Zhu i in. 2024]. Bierze udział w syntezie elastyny i kolagenu, składników strukturalnych macierzy pozakomórkowej, które są ważne dla właściwości mechanicznych skóry [Alogna i in. 2021]. Alantoina silnie nawilża, wpływa na zmiękczenie keratyny i złuszcza naskórek, łagodzi podrażnienia i regeneruje [Waluga-Kozłowska i in. 2021, Ciećko i in. 2022].

Tabela 1. Właściwości prozdrowotne wybranych biologicznie aktywnych związków chemicznych ze śluzu ślimaka

Biologicznie aktywne związki	Działanie na skórę	Literatura
Alantoina	nawilżające, gojące, przeciwzapalne, złuszczone	El Mubarak i in. [2013], Ciećko i in. [2022], Zhu i in. [2024]
Dysmutaza nadtlenkowa (SOD)	antyoksydacyjne	Huang 2020], Errajouani i in. [2023]
Kolagen i elastyna	kondycjonujące, odżywcze, uelastyczniające, zmiękczone	Zuchowski i Nowicka-Zuchowska [2019], Kuczkowski [2024]

Biologicznie aktywne związki	Działanie na skórę	Literatura
Kwas glikolowy	fotoprotekcyjne, keratolityczne, regenerujące, przeciwzapalne, zwiększające syntezę kolagenu	El Mubarak i in. [2013], Singh i in. [2024]
Kwas hialuronowy	łagodzące podrażnienia, nawilżające, regenerujące, wygładzające	Kim i in. [2022], Rashad i in. [2023], Zhu in. [2024]
Kwas mlekowy	złuszczące, regulujące melanogenezę	Singh i in. [2024]
Peptydy: mucyna, achacyna, achatyna, mitamycyna AF	fotoprotekcyjne, nawilżające, ochronne, odżywcze, przeciwbakteryjne	Cilia i Frantini [2018], Wargala i in. [2023]
Witamina A	gojące, normalizujące keratynizację, odżywcze, regenerujące sebum	El Mubarak i in. [2013], Rashad i in. [2023], Kuczkowski [2024]
Witamina C	antyoksydacyjne, fotoprotekcyjne, gojące, hamujące produkcję melaniny, odżywcze, regulujące syntezę kolagenu, przeciwłuszczykowe, przeciwtrądzikowe, przeciwzmarszczkowe, rozjaśniające	Rashad i in. [2023], Kuczkowski [2024]
Witamin E	antyoksydacyjne, fotoprotekcyjne	Rashad i in. [2023], Kuczkowski [2024]

W śluzie ślimaka obecne są następujące enzymy: dysmutaza ponadtlenkowa (SOD), katalaza (CAT) i peroksydaza glutationowa (GPX) [Errajouani i in. 2023].

Udowodniono, że obecność tych enzymów neutralizuje wolne rodniki i w ten sposób może zmniejszać uszkodzenia skóry wywołane promieniowaniem UV oraz owrzodzeniem i stanem zapalnym [Errajouani i in. 2023, Putranti i in. 2022]. Poza tym nieenzymatyczne przeciwutleniacze obecne w śluzie ślimaka obejmują pochodne glutationu (GSH), których grupa sulfhydrylowa (-SH) jest szeroko zaangażowana w redukcję nadtlenu [Perpelek i in. 2021]. Z kolei S-transferaza glutationu (GST), obecna w śluzie ślimaka, jest typowym enzymem odpowiedzialnym za detoksykację elektrofilowych ksenobiotyków [Das i in. 2024, Huang 2020].

Zadaniem kolagenu jest zapewnienie tkankom stabilności poprzez tworzenie w ich strukturze sieci podporowych [Kuczkowski 2024, Zuchowski i Nowicka-Zuchowska 2019]. Wyniki badań potwierdzają istotny wpływ hydrolizatów kolagenowych na syntezę kolagenu typu I (dominującego w 85–90% w skórze osoby dojrzałej) przez fibroblasty skóry [Ciećko i in. 2022]. Poza tym dodanie tego białka, obecnego w śluzie ślimaka, do kosmetyków przyczynia się do prawidłowego nawilżenia skóry, poprzez minimalizację transepidermalnej utraty wody, oraz ograniczenie dostrzegalności zmarszczek [Kuczkowski 2024]. W pielęgnacji skóry i zachodzących w niej procesach przeciwstarzeniowych istotne znaczenie ma elastyna, ważny składnik śluzu ślimaka, odpowiadająca za jędrność i sprężystość. Poprawiając elastyczność, powoduje wyretuszowanie zmarszczek i przyczynia się do poprawy ogólnego wyglądu skóry. Poza tym zapewnia odpowiedni poziom jej nawilżenia [Ciećko i in. 2022].

Z kolei inny składnik śluzu ślimaka – kwas glikolowy – pobudza procesy złuszczenia starzejącego się naskórka. Indukuje w skórze właściwej syntezę kolagenu i elastyny, spłycając zmarszczki i poprawiając sprężystość skóry [Zhu i in. 2024]. Kwas glikolowy, znany również jako kwas hydrooctowy lub kwas alfa-hydroksyoctowy [Alogna i in. 2021], reguluje wydzielanie sebum, zmniejsza widoczność pigmentacji i rozmiary powiększonych porów [Ciećko i in. 2022]. Poza tym kwas glikolowy wykazuje działanie ochronne przed promieniowaniem słonecznym i szkodliwym działaniem wolnych rodników tlenowych, a w efekcie hamuje procesy fotostarzenia.

Składnikowi temu przypisuje się także działanie przeciwzapalne [El Mubarak i in. 2013]. Kwas glikolowy przyczynia się także do zwiększania mobilności innych bioaktywnych składników w skórze [Kuczkowski 2024].

Śluz ślimaka jest bogaty w kwas hialuronowy. Związek ten odznacza się wysoką higroskopijnością, jeden gram bowiem jest w stanie związać do 6 litrów wody [Rashad i in. 2023]. Kwas hialuronowy ma silne właściwości nawilżające, utrzymując przy tym optymalny poziom nawodnienia skóry [Kim i in. 2022]. Utrzymanie nawilżenia skóry jest niezbędne do zachowania elastyczności i zminimalizowania widoczności linii i zmarszczek [Yongeun i in. 2022, Zhu i in. 2024]. Kwas hialuronowy wywiera wpływ na jędrność i kondycję skóry oraz zachodzące w tkankach procesy regeneracji, a także wpływa pozytywnie na ciśnienie hydrostatyczne [Kim i in. 2022]. Kontroluje lepkość oraz jest środkiem dobroczynnym dla kondycji skóry. Ponadto nie dopuszcza do uszkodzenia komórek – dzięki wolnym rodnikom – oraz przyspiesza gojenie ran [Ciećko i in. 2022].

Mucyna i peptydy, występujące w śluzie ślimaka, mają potencjał stymulowania produkcji kolagenu i elastyny [Rashad i in. 2023], przyczyniają się do utrzymania jędrności i elastyczności skóry. Peptydy mają właściwości gojące i przeciwzapalne [Zuchowski i Nowicka-Zuchowska 2019]. Glikoproteiny, podobnie jak peptydy, charakteryzują się działaniem przeciwdrobnoustrojowym [Zhu i in. 2024]. Wolne aminokwasy stymulują procesy odnowy skóry [Cilia i Frantini 2018]. Obecne w śluzie czynniki wzrostu również mogą wspomagać regenerację skóry, ułatwiając odnowę komórek i zastępując martwe komórki zdrowymi [Rashad i in. 2023]. Witaminy A, E, C mają właściwości pielęgnacyjne [Kuczkowski 2024]. Z kolei niskie dawki pierwiastków śladowych, takich jak miedź (Cu) i cynk (Zn), hamują produkcję wolnych rodników oksydacyjnych, a cynk działa również jako środek przeciwbakteryjny [Aouji i in. 2023].

Zastosowanie śluzu ślimaka w produktach kosmetycznych

Śluz ślimaka najczęściej pozyskiwany jest z następujących gatunków: *Cornu aspersum* (zachodnioeuropejski ślimak szary; dawniej *Helix aspersa* i *Cryptomphalus aspersa*), *Helix pomatia* (ślimak winniczek), *Archachatina marginata* (afrykański

olbrzymi ślimak lądowy) i *Achatina fulica* (ślimak olbrzymi) [Oscherwitz i in. 2024]. W obowiązującej w Unii Europejskiej Międzynarodowej Nomenklaturze Składników Kosmetycznych (*International Nomenclature of Cosmetic Ingredients*, INCI) śluz ślimaka jest obecny pod nazwą INCI: Snail Secretion Filtrate, a nazwa ta odnosi się do surowca otrzymanego z filtratu śluzu jednego lub kilku gatunków ślimaków [Gunia-Krzyżak i in. 2021]. W kosmetykach i zabiegach kosmetycznych wykorzystuje się ekstrakt ze ślimaków *Pomacea canaliculata* (ampularia) (INCI: Snail Extract) i morskich ślimaków z rodzaju *Haliotis* (INCI: Abalone Extract) [CosIng 2023]. Spośród składników kosmetycznych pewien udział w rynku stanowią filtry śluzu ślimaków, które są poddane fermentacji przez drożdże z rodzaju *Saccharomyces* (INCI: Saccharomyces/Snail Secretion Filtrate Ferment Filtrate lub INCI: Aspergillus Aspergillus/Snail Secretion Filtrate Ferment Filtrate) oraz ekstrakt ze ślimaków, który został zhydrolizowany chemicznie lub enzymatycznie (INCI: Hydrolyzed Snail Body Extract) [Wargala i in. 2023]. W kosmetykach jako składnik często występuje ekstrakt z jaj ślimaka (INCI: Snail Egg Extract) [Gunia-Krzyżak i in. 2021].

Śluz ślimaka jest wykorzystywany w wielu produktach kosmetycznych: balsamach, kremach, lotionach, maseczkach przeciwstarzeniowych, mgiełkach, peelingach i plastrach pod oczy, serach przeciwzmarszczkowych, żelach i różnych formacjach na szczególne problemy skórne: blizny, cellulit, przebarwienia skóry, rozstępy i trądzik [Kuczkowski 2024]. Śluz ślimaka stanowi składnik wielu produktów kosmetycznych nie tylko do pielęgnacji skóry, ale też włosów i paznokci [Laneri i in. 2019]. Zasadniczo wykorzystywany jest do dogłębnego nawilżenia i odżywienia, wypłycania zmarszczek i blizn oraz w redukcji przebarwień [Rashad i in. 2023]. Zalecane stężenie śluzu ślimaka w kosmetykach w zależności od produktu wynosi od 3% do 97%.

Podsumowanie

Śluz ze ślimaka jest wykorzystywany na szeroką skalę w przemyśle kosmetycznym. Kryptozyna, będąca jedną z frakcji śluzu ślimaka, zawiera biologicznie aktywne związki, które są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania skóry. Substancje te wykazują właściwości ochronne i pozytywnie wpływają na stan skóry, inicjując

procesy jej odnowy. Efektem stosowania tych składników są spowolnione procesy starzenia się skóry, zapewnienie odpowiedniego poziomu nawilżenia, złagodzenie podrażnień, wspomaganie regeneracji skóry po oparzeniach słonecznych i obrażeniach mechanicznych, poprawa elastyczności skóry, zmniejszenie przebarwień skórnych oraz redukcja blizn i rozstępów.

Bibliografia

- Alogna A., Gentili V., Trapella C., Hallan S.S., Sguizzato M., Stazzabosco G., Fernández M., Cortesi R., Rizzo R., Bortolotti D., 2021. Design of liposomes carrying *Helix complex* snail mucus: preliminary studies. *Molecules* 26, 4709.
- Aouji M., Rkhaila A., Bouhaddioui B., Zirari M., Harifi H., Taboz Y., Lrhorfi L.A., Bengueddour R., 2023. Chemical composition, mineral profile, anti-bacterial, and wound healing properties of snail slime of *Helix aspersa* Müller. *BioMedicine* 13(4), 10.
- Ciećko J., Romańska A., Moryl M., Kaczmarczyk J., Domaradzki P., Kowalczyk M., 2022. Wybrane składniki aktywne w przeciwstarzeniowych preparatach kosmetycznych. *Nauki Przyr. Med.* 1, 33.
- Cilia G., Fratini F., 2018. Antimicrobial properties of terrestrial snail and slug mucus. *J. Complement. I. Med.* 15(3), 20170168.
- CosIng, the European Commission Database for Information on Cosmetic Substances and Ingredients, <https://ec.europa.eu/growth/toolsdatabases/cosing/index.cfm?fuseaction=search.simple> [dostęp: 19.10.2023].
- Das P.J., Laskar M.A., Kalita J.K., Mohan H.R., Deka A., Ahmed N., Dutta B., 2024. The potential therapeutic applications and mechanisms of action of *Cryptomphalus aspersa* (snail) extracts in dermatology and wound healing. *World J. Biol. Pharm. Health. Sci.* 18(2), 110–7.
- Di Filippo M.F., Dolci L.S., Bonvicini F., Sparla F., Gentilomi G.A., Panzavolta S., Passerini N., Albertini B., 2024. Influence of the extraction method on functional properties of commercial snail secretion filtrates. *Sci. Rep.* 14, 22053.

- Dinica, R.M., Sandu, C., Dediu Botezatu, A.V., Cazanevscaia Busuioc, A., Balanescu, F., Ionica Mihaila, M.D., Dumitru C.N., Furdui B., Iancu, A.V., 2021. Allantoin from valuable Romanian animal and plant sources with promising anti-inflammatory activity as a nutricosmetic ingredient. *Sust.* 13(18), 10170.
- El Mubarak M.A., Lamari F.N., Kontoyannis C., 2013. Simultaneous determination of allantoin and glycolic acid in snail mucus and cosmetic creams with high performance liquid chromatography and ultraviolet detection. *J. Chromatogr. A.* 1322:49–53.
- Errajouani F., Bakrim H., Hourfane S., Louajri A., Rocha J.M., El Aouad N., Laglaoui A., 2023. Exploring the potential anti-inflammatory and wound-healing proprieties of *Cepaea hortensis* snail mucin. *Cosmetics* 10(6), 170.
- Gunia-Krzyżak A., Sowa A., Piska K., Żelaszczyk D., Marona H., 2021. Zaskakujące i niezwykle składniki współczesnych kosmetyków. *Farm. Pol.* 77(5), 287–296.
- Herman A., Wińska P., Białek M., Herman A.P., 2024. Biological properties of the mucus and eggs of *Helix aspersa* Müller as a potential cosmetic and pharmaceutical raw material: a preliminary study. *Int. J. Mol. Sci.* 25(18), 9958.
- Huang A., 2020. Snails and skin care: why you should put snail slime on your face. *Imperial Bioscience Review. Health Care*, <https://imperialbiosciencereview.wordpress.com/2020/10/16/snails-and-skin-care-why-you-should-put-snail-slime-on-your-face/> [dostęp: 14.10.2024].
- Kim Y., Sim W.J., Lee J.S., Lim T.G., 2022. Snail mucin is a functional food ingredient for skin. *J. Funct. Foods* 92, 105053.
- Kuczkowski T., 2024. Beneficial properties of snail slime, its use in medicine and cosmetology – a review of current research. *New trends in biomedical research – from general medicine to personalized medicine*. Młynarczuk-Biały I., Biały Ł.P. (red.), Wydawnictwo Naukowe Tygiel, 136–151.
- Laneri S., Lorenzo R.D., Sacchi A., Dini I., 2019. Dosage of bioactive molecules in the nutricosmeceutical *Helix aspersa* muller mucus and formulation of new cosmetic cream with moisturizing effect. *Nat. Prod. Commun.* 14(8), 1934578X19868606.

- Liegertová M., Malý J., 2023. Gastropod mucus: interdisciplinary perspectives on biological activities, applications, and strategic priorities. *ACS Biomater. Sci. Eng.* 9(10), 5567–5579.
- Lopes D., Cunha E., Conde T., Moreira A., Cruz S., Domingues P., Cartaxana P., 2024. Antimicrobial, antioxidant and anti-inflammatory activities of the mucus of the tropical sea slug *Elysia crispata*. *Molecules* 29(19), 4593.
- Marchlewicz M., Wojnarowicz J., Wilk A., Misiakiewicz-Has K., Wiszniewska B., Szumilas K., Duchnik E., 2024. Effect of *Helix aspersa* mucus on the regeneration of skin with photoaging features in different methods of application. *Applied Sci.* 14(16), 7394.
- Oscherwitz M., Godinich B.M., Singh N., Rohr B.R., 2024. Beyond the shell: malacology in medical dermatology. *Arch. Dermatol. Res.* 316(8), 576.
- Perpelek M., Tamburaci S., Aydemir S., Tihminlioglu F., Baykara B., Karakasli A., Havitcioglu H., 2021. Bioactive snail mucus-slime extract loaded chitosan scaffolds for hard tissue regeneration: The effect of mucoadhesive and antibacterial extracts on physical characteristics and bioactivity of chitosan matrix. *Biomed. Mater.* 16, 065008.
- Putranti I.O., Sutrisna E., Ekowati N., Mawardi P., Novrial D., 2022. The role of *Achatina Fulica* snail slime extract enzymatic antioxidants as photoprotector in sunburn model mice. *Int. J. Med. Sci. Clin. Res. Stud.* 2, 624–630.
- Rashad M., Sampò S., Cataldi A., Zara S., 2023. Biological activities of gastropods secretions: snail and slug slime. *Natural Prod. Bioprospect.* 13(1), 42.
- Singh N., Brown A.N., Gold M.H., 2024. Snail extract for skin: a review of uses, projections, and limitations. *J. Cosmet. Dermatol.* 23(4), 1113–1121.
- Theerawattanawit C., Promvaranon T., Rerknimitr P., Asawanonda P., Noppakun N., Kumtornrut C., 2021. Snail soothing and repairing cream improves skin hydration after ablative fractional CO₂ laser: a split-face randomized double-blinded placebo-controlled trial. *Skin Pharmacol. Physiol.* 34(5), 262–270.

- Waluga-Kozłowska E., Jasik K., Wcisło-Dziadecka D., Pol P., Kuźnik-Trocha K., Komosińska-Vassev K., Zimmermann A., 2021. Snail mucus – a natural origin substance with potential use in medicine. *Acta Pol. Pharm.* 78(6).
- Wargala E., Zalewska A., Sławska M., Kot I., 2023. Snail mucus as an innovative ingredient used in the cosmetology and medical industry. *Aesth. Cosmetol. Med.* 12, 45–49.
- Wojnarowicz J., Wilk A., Duchnik E., Marchlewicz M., 2021. The effect of snail secretion filtrate on photoaged skin. *J. Face Aesthet.* 4(2), 113–127.
- Yongeun K., Woo-Jin S., Jeong-Seok L., Tae-Gyu L., 2022 Snail mucin is a functional food ingredient for skin. *J. Funct. Foods.* 92, 105053.
- Zhu K., Zhang Z., Li G., Sun J., Gu T., Ain N.U., Zhang X., Li D., 2024. Extraction, structure, pharmacological activities and applications of polysaccharides and proteins isolated from snail mucus. *Int. J. Biol. Macromol.* 258, 128878.
- Zuchowski A., Nowicka-Zuchowska A., 2019. Kolagen – rola w organizmie i skutki niedoboru. *Lek Pol.* 29(11/12), 6–10.

Abstract

Recently, an increase in the interest in natural raw materials used in the cosmetic industry has been observed. One of such materials is snail slime. The aim of the study was to determine the activity and application of snail slime as a source of bioactive chemical compounds in cosmetic products based on a review of original research literature. Cryptosine contains bioactive chemical compounds with pro-health and therapeutic properties for application to human skin. These metabolites exert antioxidant, photoprotective, moisturizing, anti-inflammatory, conditioning, brightening, regenerating, exfoliating, smoothing, and antibacterial effects. Additionally, they stimulate the production of collagen and elastin, soothe inflammation and irritation, and reduce stretch marks and scars.

Key words: *Cornu aspersum*, biologically active chemical compounds, skin care

Zastosowanie hodowli komórkowych w kosmetologii

Use of cell cultures in cosmetology

Adam M. Bownik  <https://orcid.org/0000-0003-3623-838X>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin
e-mail: adam.bownik@up.lublin.pl

Tomasz Mieczan  <https://orcid.org/0000-0003-2839-1798>

Magdalena Toporowska  <https://orcid.org/0000-0002-2653-9376>

Aleksandra Bartkowska  <https://orcid.org/0000-0001-6046-3750>

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin

Streszczenie

Przepisy unijne zobowiązują naukowców do znacznego ograniczenia eksperymentów na zwierzętach, dlatego też coraz częściej w badaniach biokosmetologicznych stosuje się innowacyjne metody bazujące na hodowlach komórkowych. Ze względu na miejsce aplikacji większości produktów kosmetycznych, największe zainteresowanie badaczy budzą różne rodzaje pierwotnych i wtórnych hodowli komórek skóry pochodzących z keratynocytów, fibroblastów, melanocytów, w układach jednowarstwowym (2D) oraz wielowarstwowym (3D).

Celem tej pracy jest krótki przegląd wiedzy na temat zastosowania różnych hodowli komórkowych skóry w biokosmetologii.

Słowa kluczowe: komórki skóry, kosmetyki, modele *in vitro*

Wstęp

Powszechnie wiadomo, że każdy preparat kosmetyczny przed wprowadzeniem na rynek powinien być dokładnie przebadany pod kątem skuteczności oraz potencjalnego działania toksycznego. Alternatywne metody testowania tego typu związków z zastosowaniem innowacyjnych hodowli komórkowych *in vitro* wydają się coraz bardziej pożądane ze względu na fakt, że przepisy unijne (np. dyrektywa 63/2010 [Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE]) sugerują ograniczenie wykorzystywania zwierząt (mysz, królik, szczur) do celów eksperymentalnych. Modele oparte na hodowlach *in vitro* komórek skóry człowieka coraz powszechniej stosowane są w badaniach dotyczących m.in. opracowania skutecznych preparatów pozwalających zachować zdrową skórę lub pomagających zmniejszyć jej podatność na infekcje, podrażnienia, stan zapalny lub usprawniać proces gojenia ran. W tej pracy zostaną omówione najczęściej stosowane typy hodowli komórek skóry człowieka oraz zostaną przedstawione niektóre wyniki badań biokosmetologicznych z ich zastosowaniem.

Skóra człowieka jest zewnętrzną barierą oddzielającą organizm człowieka od zewnętrznych czynników środowiskowych. Narząd ten składa się z trzech warstw komórek:

- epidermalnej (*epidermis*) – złożonej głównie z keratynocytów wytwarzających białko włókienkowe i keratynę, komórek Merkela, melanocytów produkujących pigment i komórek Langerhansa,
- skóry właściwej (*dermis*) zawierającej m.in. mieszki włosowe, gruczoły potowe, łojowe oraz apokrynowe, naczynia włosowate oraz włókna białkowe,
- tkanki podskórnej (*subcutis*), w której skład wchodzi adipocyty (komórki tłuszczowe), fibroblasty, makrofagi, komórki tkanki łącznej wiążące skórę z głębiej położonymi mięśniami oraz kośćmi [Nestle i in. 2009].

W badaniach kosmetologicznych przeważnie wykorzystywane są jednowarstwowe hodowle *in vitro*, będące modelami jednej z trzech ww. warstw skóry lub zespołami różnych populacji komórek skóry, pochodzącymi z dwóch lub trzech warstw, zwane także dwuwymiarowymi (2D) modelami *in vitro*. Ponadto coraz częściej stosuje się

również modele trójwymiarowe (3D) [Duval i in. 2017], które są przestrzennymi modelami umożliwiającymi bardziej realistyczne symulowanie naturalnej budowy skóry, co pozwala na bardziej precyzyjne określenie rodzaju i mechanizmów zmian zachodzących w wielowarstwowym mikrośrodowisku komórkowym [Herman i Herman 2013].

Pierwotne hodowle komórkowe

Pierwotne hodowle komórkowe charakteryzują się tym, że komórki pozyskiwane są bezpośrednio z tkanek organizmu dawcy (*ex vivo*) i nie są w żaden sposób modyfikowane genetycznie. Termin „pierwotne” odnosi się jedynie do komórek przed pasażem. Po namnożeniu komórek w hodowli i późniejszym przeniesieniu do kolejnego naczynia hodowlanego, hodowlę taką określa się jako wtórną. Pierwotne hodowle komórkowe są początkowo heterogenne i zawierają także komórki innych populacji, jednak z czasem, za pomocą odpowiedniego rodzaju podłoża hodowlanego, uzyskuje się jednorodną pulę komórek pożądanego typu. Zaletą pierwotnych hodowli komórkowych jest to, że pochodzą od znanych dawców i mogą być wykorzystywane do badań spersonalizowanych [Oliveira i in. 2022]. Obecnie prowadzi się zaawansowane metody hodowli *ex vivo* na modelu skóry o pełnej grubości (ang. *full-thickness*), umożliwiające badanie różnorodnych związków aplikowanych na skórę. Komórki tego typu hodowli mogą być zróżnicowane w zależności od wieku, płci oraz rasy dawców i wykorzystywane są najczęściej w pierwszej fazie testowania. Przykładami hodowli pierwotnych komórek skóry, które mają potencjalne wykorzystanie w biokosmetologii, są linie komórek śródbłónka naczyń skóry (ang. *dermal microvascular endothelial cells*, DMEC) pochodzące od dorosłych osób, melanocyty epidermalne (ang. *epidermal melanocytes*, EM) izolowane ze skóry noworodka, ludzkie fibroblasty skórne (ang. *primary human dermal fibroblasts*, PHDF) lub keranocyty epidermalne (ang. *primary epidermal keratinocytes*, PEK) pochodzące od noworodków. Wykorzystywanie hodowli pierwotnych w badaniach kosmetycznych ma również swoje ograniczenia, gdyż przygotowanie ich jest pracochłonne, a komórki z czasem zwykle stopniowo tracą swoją żywotność. Mogą one jednak być dobrym modelem w badaniach uzupełniających, prowadzonych standardowo na innych hodowlach komórek skóry,

mogą również być stosowane w przedklinicznym wielkoskalowym skriningu lub na przykład predykcyjnej ocenie poparzeń skóry [Labouchère i in. 2024].

Unieśmiertelnione linie komórkowe

Hodowla *in vitro* komórek izolowanych bezpośrednio z tkanek wymaga monitorowania liczby podziałów oraz stosunkowo częstego pozyskiwania nowych komórek od dawców. Bardziej komfortowe wydaje się wykorzystanie linii, w których komórki mogą swobodnie dzielić się teoretycznie w nieskończoność, bez zmiany swoich właściwości. Obecnie dostępne są zmodyfikowane, unieśmiertelnione keratynocyty epidermalne, melanocyty, fibroblasty, komórki mikronaczyń krwionośnych oraz limfatycznych śródbłonna.

Modele dwuwymiarowe (2D) takich linii stanowią zwykle pojedynczą warstwę komórek skóry jednego rodzaju, np. keratynocytów lub kokulturę, składającą się zwykle z dwóch typów, np. fibroblastów z keratynocytami. Hodowle 2D dają możliwość kontrolowania podziałów oraz prowadzenia precyzyjnej obserwacji zmian za pomocą mikroskopu lub innej aparatury, jednak modele takie nie odzwierciedlają w pełni rzeczywistej wielowarstwowej struktury skóry. Dlatego też pełna ocena działania kosmetyku na skórę powinna zawierać wyniki efektów obserwowanych w innych jej strefach, np. zrogowaciałej, najmniej przepuszczalnej warstwie *stratum corneum*, odgrywającej ważną rolę podczas ekspozycji na zewnętrzne czynniki środowiskowe. Problem ten obecnie daje się rozwiązać przy wykorzystaniu bardziej zaawansowanych modeli, uwzględniających tę strefę [Quijas in. 2024].

Coraz powszechniejsze w nowoczesnych laboratoriach biokosmetologicznych trójwymiarowe hodowle komórkowe (3D) pozwalają na odwzorowanie danego typu tkanki w warunkach *in vitro* [Velasquillo i in. 2013], co w większym przybliżeniu może odzwierciedlać oddziaływanie czynników zewnętrznych na złożone mikrośrodowisko tkankowe. Pozwala to więc uzyskać wiarygodniejsze dane na temat żywotności, ekspresji różnych genów, sygnalizacji komórkowej, aktywności enzymatycznej, jednocześnie w różnych warstwach/komórkach takich systemów. Niekiedy wykonywane są także badania transkryptomiczne, proteomiczne, a także ilościowa oraz jakościowa ocena destrukcji DNA. Odpowiednie protokoły umożliwiają

przygotowanie i zastosowanie do badań różnych modeli skóry za pomocą komercyjnych hodowli keranocytów, fibroblastów oraz melanocytów [Szymański i in. 2020]. Hodowle takie bardzo często wykorzystywane są do badania oddziaływania czynników środowiskowych, takich jak promieniowanie UVA oraz UVB, oraz wysuszania skóry w celu opracowania skutecznych preparatów chroniących przed poparzeniami słonecznymi [Bernerd i Asselineau 2008].

Typowe modele komórek skóry

Ze względu na rodzaj komórek oraz liczbę warstw, wyróżnić można kilka typów linii pochodzących ze skóry człowieka. Poniżej krótko scharakteryzowano najczęściej wykorzystywane modele w badaniach biokosmetologicznych (tab. 1).

Modele skóry o pełnej grubości (*full-thickness*) zawierają zarówno zewnętrzną warstwę epidermalną, jak i tę charakterystyczną dla skóry właściwej (dermalną). Hodowle takie wykorzystywane są do badań nad wpływem kosmetyków lub czynników środowiskowych na różne warstwy skóry. Linie te okazały się użyteczne szczególnie w badaniu procesów gojenia ran i starzenia skóry [Persinal-Medina i in. 2022]. Na przykład w przeprowadzonych badaniach z wykorzystaniem tych komórek stwierdzono, iż światło niebieskie o dużej intensywności emitowane głównie z ekranów urządzeń elektronicznych może powodować stres oksydacyjny prowadzący do apoptozy i nekrozy komórek, co w efekcie może przyspieszać starzenie skóry [Kala i in. 2023].

Model epidermalny obejmuje linie komórek wywodzące się z komórek naturalnie występujących w zewnętrznej warstwie skóry człowieka. Najpowszechniej spotykane nazwy handlowe to seria Episkin® lub Epiderm®, której typ EpiDerm-FT (EFT-306) to linia pochodząca z ludzkich epidermalnych keratynocytów oraz fibroblastów skóry [DeHaven i in. 2014]. Modele epidermalne są wykorzystywane głównie do badania efektów na skórę, wywoływanych przez czynniki środowiskowe, takie jak promieniowanie UV, oraz ochronnych lub drażniących właściwości substancji kosmetycznych. Badania przeprowadzone na ludzkich komórkach epidermalnych dostarczyły cennych informacji na temat ochronnego działania witaminy C przed szkodliwym oddziaływaniem promieniowania UV [Kawashima i in. 2018], ochronnego

wpływu nanocząstek [Fernandes i in. 2015] lub mieszaniny nanowłókien polikaprolaktonu i ekstraktu roślinnego z mirtu zwyczajnego (*Myrtus communis*), podczas ekspozycji komórek na promieniowanie UV [Bellu i in. 2020]. W ocenie niepożądanych efektów wywoływanych przez kosmetyki oprócz określania żywotności lub cytotoksyczności wykorzystywane są także systemy *in vitro* do badania sensytyzacji skóry. Testy KeratinoSens™, będące adherentnymi keratynocytami, wykorzystywane są do badania potencjalnego działania alergicznego lub zapalnego na skórę [Belot i in. 2017].

Modele „melanoma” są hodowlami składającymi się głównie lub wyłącznie z melanocytów, produkujących melaninę odpowiedzialną za pigmentację skóry. Przykładami linii komórek raka skóry człowieka, dostępnych komercyjnie, są: M14 – linie czerniaka złośliwego bezbarwnikowego (ang. *amelanotic melanoma*) lub komórki raka kolczystokomórkowego (ang. *squamous cell carcinoma*, SCL) [Shi i in. 2022]. Ponieważ modele 2D mogą nie odzwierciedlać w pełni mikrośrodowiska naturalnego komórek czerniaka, coraz powszechniej stosowane są przestrzenne modele sferoidalne [Gregg 2021]. W badaniach biokosmetologicznych linie te wykorzystywane są do określania mechanizmów zaburzeń pigmentacji skóry oraz poszukiwania związków pomocnych w ich leczeniu [Ścieżyńska i in. 2021]. Stwierdzono na przykład, iż kwas mlekowy wywołuje zahamowanie procesu melanogenezy, co sugeruje, iż jego miejscowa aplikacja na skórę sprzyja depigmentacji i zmniejsza uszkodzenia skóry spowodowane fotoekspozycją [Huang i in. 2020a].

Modele *in vitro* komórek mieszków włosowych zawierają komórki brodawkowe mieszków włosowych, pełniące ważną rolę w ich morfogenezie [Madaan i in. 2018]. Linie takie służą do badania oddziaływania substancji kosmetycznych na tempo wzrostu włosów, specyficznych nieprawidłowości w strukturze oraz funkcjach skóry i włosów, takich jak na przykład łysienie plackowate. Przykładami linii ludzkich komórek mieszków włosowych są komórki HFDPC (ang. *human follicle dermal papilla cells*) lub pierwotne hodowle PHFDPC (ang. *primary human follicle dermal papilla cells*) [Madaan i in. 2018]. Wykorzystując model zawierający mieszki włosowe (HFDPC) do badań, stwierdzono, iż ekstrakt z rośliny *Camellia japonica* stymuluje ekspresję genów odpowiedzialnych za porost włosów [Cho i in. 2021].

Modele unaczynionej skóry, zawierające oprócz typowych komórek skóry także komórki naczyń krwionośnych, służą do badania wpływu różnych substancji na proces angiogenezy oraz interakcje pomiędzy komórkami skóry i naczyniami krwionośnymi. Przykładem są komórki linii pierwotnej HDMEC (ang. *human dermal microvascular endothelial cells*). W badaniach z wykorzystaniem tej linii stwierdzono między innymi, że kwas szalwiowy B, wytwarzany przez szalwię czerwoną (*Salvia miltiorrhiza*), stymuluje syntezę kolagenu [Meng i in. 2022].

Organoidy są przestrzennie zorganizowanymi konglomeratami komórek, będącymi uproszczoną wersją odpowiedniego narządu. Modele te złożone z komórek skóry, mieszków włosowych oraz gruczołów, pełniących rolę bariery zewnętrznej, termoregulacyjnej oraz sensorycznej są coraz częściej stosowane w badaniach biokosmetologicznych, m.in. do badania destrukcji komórek skóry spowodowanej światłem UV.

Sferoidy stanowią specyficzny rodzaj kultur komórkowych *in vitro* 3D. Mimo iż są to układy strukturalnie i funkcjonalnie symulujące w pewnym stopniu działanie narządów, te sferyczne agregaty komórek mają niższy stopień złożoności w porównaniu z organoidami. Są one znacznie mniej skomplikowane strukturalnie niż inne, bardziej „naturalne” modele stosowane w badaniach eksperymentalnych, jak na przykład guzy nowotworowe *in vivo* [Huang i in. 2020b], znajdują jednak zastosowanie w badaniach eksperymentalnych. W biokosmetologii dużym zainteresowaniem cieszą się sferoidy zawierające mieszki włosowe [Kang i in. 2023].

Komórki macierzyste skóry naturalnie pełnią bardzo ważną rolę w utrzymaniu prawidłowej struktury i funkcji skóry, gdyż mogą różnicować się w komórki naskórka, mieszków włosowych i pigmentu [Blanpain i Fuchs, 2006]. Hodowle *in vitro* otrzymane z tego typu komórek lub pochodzące od nich egzosomy służą do testowania nowych substancji kosmetycznych, zwłaszcza pod kątem regeneracji po uszkodzeniach [Díaz-García i in. 2021]. Linie te służą również do oceny wpływu kosmetyków na wydzielanie sebum, gojenie ran oraz starzenie i pigmentację skóry [Singh i in. 2022].

Tabela 1. Modele hodowli komórek skóry wykorzystywane w badaniach kosmetycznych oraz krótka charakterystyka ich zastosowania

Model hodowli komórek skóry	Opis
Model skóry o pełnej grubości	Linie zawierające komórki naturalnie występujące w warstwie epidermalnej oraz dermalnej do badania komórek reprezentujących poszczególne warstwy skóry, np. starzenie oraz proces regeneracji
Model epidermalny	Linie zawierające keratynocyty lub fibroblasty, należące do najbardziej zewnętrznej warstwy skóry, służące do badania oddziaływania rozmaitych czynników zewnętrznych oraz wpływu preparatów ochronnych
Model „melanoma”	Linie składające się głównie lub wyłącznie z melanocytów w układzie dwu- i trójwymiarowym, wykorzystywane głównie do badania zaburzeń pigmentacji skóry
Model mieszków włosowych	Linie zawierające komórki brodawkowe mieszków włosowych do badania wpływu substancji na tempo wzrostu włosów oraz niektórych chorób skóry
Model unaczynionej skóry	Modele zawierające oprócz komórek skóry również komórki naczyń krwionośnych, do badania angiogenezy oraz interakcji pomiędzy różnymi populacjami komórek
Organoidy	Przestrzenne modele funkcjonalne zawierające komórki skóry, mieszki włosowe oraz gruczoły będące uproszczoną wersją narządu, wykorzystywane do badania uszkodzeń skóry
Sferoidy	Wierne modele trójwymiarowe skóry zawierające różne populacje komórek oraz mieszki włosowe, głównie do badania wpływu substancji stosowanych w kosmetykach do pielęgnacji włosów
Komórki macierzyste skóry	Modele zawierające komórki macierzyste przydatne do testowania substancji kosmetycznych regenerujących skórę

Wnioski

Hodowle komórkowe skóry dostępne w wariantach o różnym stopniu złożoności jako systemy jednowarstwowe (2D) oraz przestrzenne (3D) sferoidy lub organoidy są cennym modelem badawczym *in vitro*, pozwalającym na uzyskanie wiarygodnych wyników badań na temat skuteczności działania preparatów kosmetycznych. Modele takie mają wiele zalet, do których należą szybkość uzyskiwanych danych, dokładność w ocenie wpływu na parametry poszczególnych populacji oraz warstwy komórek. Należy jednak podkreślić, iż w warunkach naturalnych istnieje znacznie większa różnorodność i zmienność czynników wpływających na skórę. Można przypuszczać, iż przy dużym zróżnicowaniu struktury naskórka oraz aktywności metabolicznej komórek u osób odmiennej płci, wieku czy rasy, z pewnością różna będzie skuteczność działania preparatów. Kolejnym problemem są wciąż stosunkowo duże koszty prowadzenia tego typu badań, związane z przygotowaniem i utrzymaniem sterylnych pomieszczeń oraz systematycznym nabywaniem niezbędnych odczynników, jak na przykład media hodowlane czy pożywki. Ciągły rozwój w tej dziedzinie pozwala jednak mieć nadzieję na rozwiązanie tych problemów w bliskiej przyszłości.

Piśmiennictwo

Bellu E., Garroni G., Cruciani S., Balzano F., Serra D., Satta R., Montesu M.A., Fadda A., Mulas M., Sarais G., Bandiera P., Torreggiani E., Martini F., Tognon M., Ventura C., Beznoska J., Amler E., Maioli M., 2020. Smart nanofibers with natural extracts prevent senescence patterning in a dynamic cell culture model of human skin. *Cells* 24, 2530.

Belot N., Sim B., Longmore C., Roscoe L., Treasure C., 2017. Adaptation of the KeratinoSens™ skin sensitization test to animal-product-free cell culture. *ALTEX* 34, 560–564.

Bernerd F., Asselineau D., 2008. An organotypic model of skin to study photodamage and photoprotection *in vitro*. *J. Am. Acad. Dermatol.* 58(Suppl 2), S155–9.

- Blanpain C., Fuchs E., 2006. Epidermal stem cells of the skin. *Ann. Rev. Cell Dev. Biol.* 22, 339–73.
- Cho W.K., Kim H.I., Paek S.H., Kim S.Y., Hyun Seo H., Song J., Lee O.H., Min J., Lee S.J., Jo Y., Choi H., Lee J.H., Moh S.H., 2021. Gene expression profile of human follicle dermal papilla cells in response to *Camellia japonica* phytoplacenta extract. *FEBS Open Biol.* 11, 633–651.
- DeHaven C., Hayden P.J., Armento A., Oldach J., 2014. DNA photoprotection conveyed by sunscreen. *J. Cosmet. Dermatol.* 13, 99–102.
- Díaz-García D., Filipová A., Garza-Veloz I., Martinez-Fierro M.L., 2021. A beginner's introduction to skin stem cells and wound healing. *Int. J. Mol. Sci.* 13, 11030.
- Duval K., Grover H., Han L.H., Mou Y., Pegoraro A.F., Fredberg J., Chen Z., 2017. Modeling physiological events in 2D vs. 3D cell culture. *Physiology (Bethesda).* 32, 266–277.
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/63/UE z dnia 22 września 2010 r. w sprawie ochrony zwierząt wykorzystywanych do celów naukowych. Tekst mający znaczenie dla EOG, Dz.U.UE.L.2010.276.33.
- Fernandes B., Silva R., Ribeiro A., Matamá T., Gomes A.C., Cavaco-Paulo A.M., 2015. Improved Poly (D,L-lactide) nanoparticles-based formulation for hair follicle targeting. *Int. J. Cosmet. Sci.* 37, 282–90.
- Gregg R.K., 2021. Model systems for the study of malignant melanoma. *Methods Mol. Biol.* 2265, 1–21.
- Herman A., Herman A.P., 2013. Caffeine's mechanisms of action and its cosmetic use. *Skin Pharmacol. Physiol.* 26, 8–14.
- Huang H.C., Lee I.J., Huang C., Chang T.M., 2020a. Lactic acid bacteria and lactic acid for skin health and melanogenesis inhibition. *Curr. Pharm. Biotechnol.* 21, 566–577.
- Huang Z., Yu P., Tang J. 2020b. Characterization of triple-negative breast cancer MDA-MB-231 cell spheroid model. *Onco Targets Ther.* 11, 5395–5405.

Kala R., Heiberger N., Mallin H., Wheeler S., Langerveld A., 2023. Reproducible method for assessing the effects of blue light using *in vitro* human skin tissues. *Int. J. Cosmet. Sci.* 45, 95–107.

Kawashima S., Funakoshi T., Sato Y., Saito N., Ohsawa H., Kurita K., Nagata K., Yoshida M., Ishigami A., 2018. Protective effect of pre- and post-vitamin C treatments on UVB-irradiation-induced skin damage. *Sci. Rep.* 8, 16199.

Labouchère A., Haselbach D., Michetti M., Pythoud C., Raffoul W., Applegate L.A., Hirt-Burri N., de Buys Roessingh A., 2024. A new *ex vivo* human skin burn model. *J. Burn Care Res.* 45, 308–317.

Madaan A., Verma R., Singh A.T., Jaggi M., 2018. Review of Hair Follicle Dermal Papilla cells as *in vitro* screening model for hair growth. *Int. J. Cosmet. Sci.* 40, 429–450.

Meng H., Zhao M.M., Yang R.Y., Deng X.F., Zhang H.Y., Choi Y.M., An I.S., An S.K., Dong Y.M., He Y.F., Li L., Guo M.M., Yi F., 2022. Salvianolic acid B regulates collagen synthesis: Indirect influence on human dermal fibroblasts through the microvascular endothelial cell pathway. *J. Cosmet. Dermatol.* 21, 3007–3015.

Nestle F.O., Di Meglio P., Qin J.Z., Nickoloff B.J., 2009. Skin immune sentinels in health and disease. *Nat. Rev. Immunol.* 9, 679–91.

Oliveira A.L.S., Valente D., Moreira H.R., Pintado M., Costa P., 2022. Effect of squalane-based emulsion on polyphenols skin penetration: *Ex vivo* skin study. *Colloids Surf B Biointerfaces.* 218, 112779.

Persinal-Medina M., Llamas S., Chacón M., Vázquez N., Pevida M., Alcalde I., Alonso-Alonso S., Martínez-López L.M., Merayo-Llodes J., Meana Á., 2022. Polymerizable skin hydrogel for full thickness wound healing. *Int. J. Mol. Sci.* 23, 4837.

Quijas G., Lewińska A., Łukaszewicz M., Bojanowski K., 2024. New skin-relevant cell coculture model with stratum corneum-like layer. *Biomed. Res. Int.* 2024, 1041392.

Ścieżyńska A., Sobiepanek A., Kowalska P.D., Soszyńska M., Łuszczynski K., Grzywa T.M., Krześniak N., Góźdź A., Włodarski P.K., Galus R., Kobiela T.,

- Malejczyk J., 2021. A novel and effective method for human primary skin melanocytes and metastatic melanoma cell isolation. *Cancers (Basel)*. 13, 6244.
- Shi C., Gu Z., Xu S., Ju H., Wu Y., Han Y., Li J., Li C., Wu J., Wang L., Li J., Zhou G., Ye W., Ren G., Zhang Z., Zhou R., 2022. Candidate therapeutic agents in a newly established triple wild-type mucosal melanoma cell line. *Cancer Commun. (Lond)*. 42, 627–647.
- Singh P., Bhat S.S., Singh N., Venkanna B.U., Mohamed R., Rao R.P., 2022. Cell-based model systems for validation of various efficacy-based claims for cosmetic ingredients. *Cosmetics* 9, 107.
- Szymański Ł., Jęderka K., Cios A., Ciepela M., Lewicka A., Stankiewicz W., Lewicki S., 2020. A simple method for the production of human skin equivalent in 3d, multi-cell culture. *Int. J. Mol. Sci.* 21, 4644.
- Velasquillo C., Galue E.A., Rodriguez L., Ibarra C., Ibarra-Ibarra L.G., 2013. Skin 3d bioprinting. Applications in cosmetology. *J. Cosmet. Dermatol. Sci. Appl.* 3, 85–89.

Abstract

EU regulations make scientists to limit their experiments on animals. Therefore, currently the increased number of innovative methods based on cell cultures are being introduced to biocosmetological research. Due to the application site of most cosmetic products, the greatest interest among researchers is focused on various types of primary and secondary skin cell cultures derived from keratinocytes, fibroblasts, melanocytes in a single-layer (2D) and multilayer (3D) system. The aim of this paper is to briefly review the knowledge on the use of various skin cell cultures in biocosmetology.

Keywords: skin cells, cosmetics, *in vitro* models

Organizmy modelowe w testach preparatów kosmetycznych

Model organisms in tests of cosmetic preparations

Małgorzata Adamczuk

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin
e-mail: malgorzata.adamczuk@up.lublin.pl

Streszczenie

Testowanie preparatów kosmetycznych na organizmach modelowych, takich jak zwierzęta laboratoryjne, jest procesem mającym na celu ocenę bezpieczeństwa i skuteczności tych produktów przed ich wprowadzeniem na rynek. Sposób przeprowadzania testów jest ściśle regulowany przez przepisy prawne oraz standardy etyczne, aby zminimalizować cierpienie zwierząt i zapewnić, że badania są przeprowadzane w sposób odpowiedzialny.

W obliczu rosnącej świadomości dotyczącej dobrostanu zwierząt wiele krajów wprowadziło restrykcyjne przepisy dotyczące testów na zwierzętach. W Unii Europejskiej od 2013 roku zakazane jest testowanie kosmetyków na zwierzętach, co wymusza rozwój alternatywnych metod badawczych, takich jak testy *ex vivo*, *in vitro* i *in silico*.

Nadal poszukuje się skutecznych alternatyw dla testów na zwierzętach, które będą w stanie dostarczyć wiarygodnych danych dotyczących bezpieczeństwa i skuteczności kosmetyków, oraz tworzy się standardy i wiarygodne metody oceny, które mogą zastąpić dotychczasowe procedury z użyciem zwierząt.

Słowa kluczowe: kosmetyki, zwierzęce organizmy modelowe, metody alternatywne

Wstęp

Organizmy modelowe to gatunki reprezentatywne dla innych gatunków ze swojej grupy taksonomicznej (rodziny, rzędu, gromady, typu itd.). Organizmy modelowe są wykorzystywane w badaniach biomedycznych od wielu lat [Huber i Keuck 2013, Green 2024]. Ich wykorzystywanie w badaniach naukowych przynosi wiele korzyści. Wyniki uzyskane w badaniach z wykorzystaniem organizmów modelowych mogą mieć zastosowanie w stosunku do innych organizmów, w tym ludzi. Dzięki temu można uzyskać ważne informacje na temat chorób i procesów biologicznych. Organizmy modelowe są ekonomiczne w utrzymaniu i badaniach, co znacznie zmniejsza koszty przeprowadzania testów [Ankeny i Leonelli 2011, Matthews i Vosshall 2020]. Organizmy modelowe nie zawsze jednak są dobrymi reprezentantami innych gatunków, dlatego wyniki uzyskane na podstawie badań przeprowadzonych na organizmach modelowych mogą nie być w pełni reprezentatywne dla innych organizmów. Dodatkowo wyniki uzyskane na podstawie badań przeprowadzonych na organizmach modelowych mogą być generalizowane i wykorzystywane bez uwzględnienia specyfiki fizjologicznej i metabolicznej innych organizmów [Bolker 2012]. Wykorzystywanie organizmów modelowych w badaniach naukowych wiąże się również z różnymi problemami etycznymi, szczególnie wtedy, kiedy dotyczą dobrostanu zwierząt laboratoryjnych, manipulacji genetycznych, testów na żywych zwierzętach czy uśmiercania organizmów [Nelson 2016, Creager 2022].

Uwarunkowania przeprowadzania testów preparatów kosmetycznych na organizmach modelowych na terenie Unii Europejskiej

Preparaty kosmetyczne są mieszaniną wielu aktywnych substancji chemicznych, dlatego firmy muszą je testować w celu określenia progu ich potencjalnej toksyczności, dawkowania i skuteczności. Każdy nowy kosmetyk przed wprowadzeniem na rynek jest zatem poddawany testom laboratoryjnym, które mają na celu sprawdzenie bezpieczeństwa jego stosowania. W XIX i XX wieku organizmy modelowe, takie jak myszy, szczury, świnki morskie i króliki albinosy, były szeroko

wykorzystywane przez firmy kosmetyczne do testowania bezpieczeństwa produktów. Prowadzenie badań preparatów kosmetycznych na ssakach wynika z ich fizjologicznego podobieństwa do ludzi, a testowanie składników kosmetyków na ssakach ma przede wszystkim na celu sprawdzenie, czy produkt jest bezpieczny i hipoalergiczny. Szeroko stosowanymi badaniami były m.in. test Draize'a (do testu króliki albinosy strzyżono i na skórę podawano badaną substancję, takie działanie pozwalało wykryć potencjalne pierwotne podrażnienia) [Draize i in. 1944], badania preparatów do włosów i kąpeli pod kątem działania drażniącego na oczy przeprowadzane na błonach śluzowych oczu królików albinosów czy prowokacyjne testy płatkowe na obecność substancji drażniących skórę przeprowadzane na zwierzętach, takich jak świnki morskie i króliki. Podrażnienie błon śluzowych i skóry, pokrzywka kontaktowa, pieczenie, uczulenie alergiczne, fototoksyczność i fotoalergia, to tylko niektóre skutki testowania preparatów kosmetycznych. W wyniku przeprowadzania takich testów zwierzęta doznają obrażeń, bólu i cierpienia, a nawet śmierci. Aby chronić zwierzęta przed niepotrzebnym bólem i urazami, wiele krajów przyjęło przepisy zakazujące testowania produktów kosmetycznych na zwierzętach. Unia Europejska jako pierwsza wprowadziła taki zakaz. Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 zabronione jest wprowadzanie na rynek jakichkolwiek produktów kosmetycznych, które były testowane na zwierzętach i w ten sposób sprawdzano, jakie skutki dla zdrowia człowieka będzie miało stosowanie tego produktu. Jednocześnie artykuł 3. powyższego rozporządzenia stanowi, że produkt kosmetyczny udostępniany na rynek musi być bezpieczny dla zdrowia ludzkiego, jeśli jest stosowany w normalnych lub dających się przewidzieć warunkach stosowania. W 2013 r. Unia Europejska wprowadziła całkowity zakaz sprzedaży i importu kosmetyków testowanych na zwierzętach. Europa jest szerokim rynkiem dla większości firm kosmetycznych na całym świecie, zatem niniejsza polityka zmusiła firmy kosmetyczne spoza Unii Europejskiej do opracowania alternatywnych metod badania kosmetyków.

Konwencjonalne i alternatywne metody testowania preparatów kosmetycznych

Na terenie Unii Europejskiej obowiązuje zakaz testowania preparatów kosmetycznych na zwierzętach, ale takie testy są wykonywane przez firmy z branży medycznej i farmaceutycznej. Nie testują one kosmetyków, lecz bezpieczeństwo nowo wyprodukowanych składników, które potencjalnie mogą później wchodzić w skład preparatów kosmetycznych. W przypadku substancji, co do których istnieją obawy dotyczące zdrowia ludzkiego (np. barwniki, konserwanty, filtry UV), ocena bezpieczeństwa przeprowadzana jest na szczeblu Komisji Europejskiej przez Komitet Naukowy ds. Bezpieczeństwa Konsumentów (ang. *Scientific Committee on Consumer Safety*, SCCS). W pozostałych przypadkach producent nowego składnika powinien dostarczyć Komisji informacje na temat toksyczności ostrej (fakultatywnie) i toksyczności dawki powtarzanej, toksyczności reprodukcyjnej, działania drażniącego i żrącego na skórę i oczy, uczulenia skóry, wchłaniania przez skórę, genotoksyczności, rakotwórczości i toksykokinetyki. Metody alternatywne do testowania nowo wprowadzanych substancji na żywych organizmach według Komisji nie są obowiązkowe, więc tradycyjnie dane toksykologiczne istotne dla człowieka uzyskuje się poprzez badania profili toksykologicznych substancji na żywych zwierzętach (testy *in vivo*), przy czym obecnie coraz większe znaczenie zyskują testy *in vitro*. Badania toksyczności ostrej, toksyczności dawki powtarzalnej i toksyczności reprodukcyjnej nowo wprowadzanych substancji przeprowadza się głównie z wykorzystaniem szczurów, myszy i królików. Najczęściej podanie następuje drogą doustną, rzadziej stosuje się dawkowanie przez skórę i drogę inhalacyjną. Badania nad wpływem substancji na podrażnienie błon śluzowych oczu przeprowadza się na królikach albinosach zgodnie z wytycznymi Organisation for Economic Co-operation and Development (Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju, OECD) [OECD 2023a]. Metody *in vitro* są stosowane w ograniczonym stopniu. Testy drażniącego działania danego składnika na skórę przeprowadza się głównie na królikach, w mniejszym stopniu wykorzystuje się także inne gatunki, jak świnki morskie i myszy. Analiza literatury wykazuje, że liczba przeprowadzonych badań *in vivo* nad drażniącym wpływem składników na skórę zmniejsza się na rzecz badań *ex vivo* (na narządach, tkankach lub komórkach pobranych z żywego organizmu) i *in vitro*

[Desprez i in. 2018]. Jedną z metod *ex vivo* jest test pomiaru przezskórnej oporności elektrycznej z użyciem skóry szczura (ang. *transcutaneous electrical resistance test*, Rat TER) [OECD 2013]. Alternatywną metodą jest metoda oparta na rekonstrukcji ludzkiego naskórka [Olejnik i in. 2011, OECD 2021]. Uczulenie skóry jest jednym z najczęstszych problemów występujących podczas stosowania kosmetyków i zwykle związane jest z obecnością substancji zapachowych, konserwantów oraz niektórych składników farb do włosów [Cheng i Zug 2014, Uter i in. 2015]. Większość testów nad uczuleniami skóry przeprowadza się *in vivo*. Do akceptowanych metod badań na zwierzętach w celu oceny potencjalnego działania uczulającego na skórę zalicza się badanie lokalnych węzłów chłonnych u myszy (ang. *local lymph node assay*, LLNA) i jego nieradioaktywne modyfikacje (LLNA-DA i LLNA-BrdU ELISA) [OECD 2024a], test maksymalizacji na świnkach morskich według Magnussona Kligmana (GPMT) oraz test płatkowy z okluzją Buehlera na świnkach morskich [OECD 2022]. Istnieją również metody *in vitro* zwalidowane i zaakceptowane przez OECD, takie jak bezpośrednie oznaczanie reaktywności peptydów (ang. *direct peptide reactivity assay*, DPRA) [OECD 2024b], metoda testu lucyferazy ARE-Nrf2 [OECD 2024c] oraz test aktywacji komórek ludzkich (h-CLAT), który opiera się na aktywacji ludzkiej białaczki monocytowej linii komórkowej THP-1 [OECD 2024d]. Wchłanianie przez skórę jest ważnym czynnikiem w ocenie toksyczności ogólnoustrojowej składnika kosmetyku i może być testowane za pomocą metody *in vitro* z wykorzystaniem komory Franza oraz skóry świńskiej lub skóry ludzkiej, pobranej śródoperacyjnie [Hahn i in. 2010]. Dane literaturowe wskazują jednak, że nadal najczęściej przeprowadzanymi testami są badania *in vivo* na szczurach [Vinardell i Mitjans 2017]. Związki o niskiej wchłanialności przez skórę nie muszą być oceniane pod kątem toksyczności dawki powtarzalnej. Istnieje wiele zwalidowanych i zaakceptowanych metod badania genotoksyczności. Komitet Naukowy ds. Bezpieczeństwa Konsumentów (SCCS) zaleca dwa testy do badania genotoksycznego wpływu nowo wprowadzanych składników: test odwrotnej mutacji bakteryjnej T (test Ames), który bada mutacje genów [OECD 2020], oraz test mikrojądrowy *in vitro*, który bada zarówno strukturalne (klastogenne), jak i numeryczne aberracje chromosomowe [OECD 2023b]. Niestety przeprowadzona retrospektywna analiza danych dotyczących genotoksyczności składników kosmetyków wykazała, że powyższe testy generują wysoki odsetek

wprowadzających w błąd wyników pozytywnych, co sugeruje, że badania *in vitro* mają niską specyficzność w stosunku do składników kosmetycznych [Ates i in. 2014]. Kancerogenność związków nadal bada się głównie *in vivo* na szczurach, myszach i królikach z aplikacją substancji doustnie lub na skórę. Istnieją testy *in vitro*, takie jak test transformacji linii komórkowej Bhas 42, jest to jeden z najbardziej znanych testów transformacji komórek do badania przesiewowego pojedynczych substancji chemicznych lub mieszanin do przewidywania rakotwórczości [Lilienblum i in. 2008, Sakai i in. 2011]. Ocenę fototoksyczności wykonuje się metodą *in vitro*, która polega na wychwycie czerwieni obojętnej przez linię komórkową fibroblastów mysich 3T3. Badania toksykokinetyczne uwzględniają różne procesy, takie jak wchłanianie, dystrybucja i metabolizm oraz wydalanie. Badania nad toksykokinetyką substancji prowadzi się głównie *in vivo*, aplikując substancje doustnie i na skórę. Wśród badań *in vitro* najczęściej przeprowadzane są testy wchłaniania jelitowego z wykorzystaniem komórek Caco-2 [Alqahtani i in. 2013, Volpe 2011] oraz metabolizmu substancji w tkankach skóry przy użyciu keratynocytów HaCaT [Carrola i in. 2016] (tab. 1). Obecnie proponowane testy toksykokinetyczne *in vitro* niewystarczająco odzwierciedlają złożoność warunków fizjologicznych w żywym organizmie [Schroeder i in. 2011].

Tabela 1. Wybrane konwencjonalne i alternatywne metody testowania nowo wprowadzanych substancji

Parametr	Metody z wykorzystaniem organizmów modelowych	Metody alternatywne
Toksyczność ostra	Jednorazowe (lub kilkukrotne w ciągu pierwszej doby) podanie doustne, przezskórne lub inhalacyjne	—
Toksyczność przewlekła	Wielokrotne podanie doustne, przezskórne lub inhalacyjne	—
Toksyczność reprodukcyjna	Test pokoleniowy po podaniu doustnym, przezskórnym lub inhalacyjnym	—

Parametr	Metody z wykorzystaniem organizmów modelowych	Metody alternatywne
Działanie miejscowe uczulające	Próba na miejscowym węźle chłonnym	Oznaczanie reaktywności peptydów
	Test maksymalizacji według Magnussona Kligmana	Test lucyferazy ARE-Nrf2
	Naskórkowy test płatkowy	Test aktywacji komórek ludzkich (h-CLAT)
Działanie miejscowe drażniące	Aplikacja do oczu	Model ludzkiego naskórka
	Prowokacyjne testy płatkowe	
	Pomiar przezskórnej oporności elektrycznej z użyciem skóry szczura (Rat-TER)	
Genotoksyczność	Aplikacja doustnie lub na skórę	Test odwrotnej mutacji bakteryjnej T (test Ames)
		Test mikrojądrowy <i>in vitro</i>
Rakotwórczość	Aplikacja doustnie lub na skórę	Test transformacji linii komórkowej Bhas 42
Fototoksyczność	Aplikacja na skórę	Test wychwytu czerwieni obojętnej z wykorzystaniem fibroblastów mysich 3T3
Toksykokinetyka	Aplikacja doustnie lub na skórę	Test wchłaniania jelitowego z wykorzystaniem komórek Caco-2
		Test metabolizmu substancji w tkankach skóry przy użyciu keratynocytów HaCaT

Dopuszczalne metody testowania preparatów kosmetycznych przez firmy kosmetyczne

Testowanie substancji wchodzących w skład kosmetyków na organizmach modelowych nie zawsze jest działaniem niezgodnym z prawem. Całkowity zakaz testowania na

zwierzętach odnosi się do gotowych produktów kosmetycznych, a więc takich, które są zgodne ze swoją recepturą końcową, w postaci, w jakiej są udostępniane konsumentowi. Dodatkowo niedopuszczalne są testy *in vivo* w przypadku możliwości zastąpienia ich zwalidowanymi i zaakceptowanymi przez OECD metodami alternatywnymi – *in vitro*, *ex vivo* lub *in silico* (z wykorzystaniem symulacji komputerowych). Testy *in vivo* powinny być prowadzone zgodnie z zasadą „3R” – *replacing* (zastępowanie kręgowców organizmami bezkręgowymi lub eliminacja żywych organizmów na rzecz stosowania metod alternatywnych), *refining* (minimalizowanie cierpienia zwierząt, które zostają poddane procedurom doświadczalnym) oraz *reducing* (zmniejszanie liczby osobników, które biorą udział w procedurze doświadczalnej) [Fox 1986]. Dopuszczalnymi metodami testowania gotowych produktów kosmetycznych są testy na prostych organizmach modelowych, takich jak bakterie, testy *in vitro* na tkankach i komórkach ludzkich, eksperymenty z wykorzystaniem metod chemicznych, eksperymenty z wykorzystaniem zwierzęcych embrionalnych komórek macierzystych, eksperymenty z wykorzystaniem zdjęć 3D ludzkich tkanek w wysokiej rozdzielczości, analizowanych z pomocą systemów komputerowych, testy na tkankach kręgowców pobranych od zwierząt uśmierconych do innych celów (np. w ubojniach) i analizy wyników testów wykonywanych na zwierzętach w przeszłości [Balls 2022]. Testy kosmetyków mają na celu nie tylko wykrycie ewentualnych niepożądanych reakcji na skórze lub w organizmie, ale również ocenę skuteczności działania preparatów, na przykład ich właściwości nawilżających, odmładzających czy ochronnych. Tę skuteczność ocenia się na podstawie obserwacji ochotników (tzw. probantów).

Wnioski

Branża kosmetyczna mierzy się dzisiaj z presją rynku na nieustanne wprowadzanie innowacyjnych produktów. Jednocześnie muszą one brać pod uwagę oczekiwania społeczne dotyczące ich etycznego działania oraz uregulowań prawnych testowania preparatów kosmetycznych na zwierzęcych organizmach modelowych.

W Unii Europejskiej obowiązuje całkowity zakaz testowania produktów kosmetycznych i ich składników na zwierzętach oraz zakaz sprzedaży kosmetyków, których składniki były w ten sposób badane.

Wiele kluczowych metod alternatywnych całkowicie zastępujących testy *in vivo* nie jest nadal dostępnych.

Bibliografia

Alqahtani S., Mohamed L.A., Kaddoumi A., 2013. Experimental models for predicting drug absorption and metabolism. *Expert Opin. Drug Metab. Toxicol.* 9, 1241–1254, <https://doi.org/10.1517/17425255.2013.802772>

Ankeny R.A., Leonelli S., 2011. What's so special about model organisms? *Stud. Hist. Philos. Sci.* 42, 313–323, <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.11.039>

Ates G., Doktorova T.Y., Pauwels M., Rogieres V., 2014. Retrospective analysis of the mutagenicity/genotoxicity data of the cosmetic ingredients present on the Annexes of the Cosmetic EU legislation (2000–12). *Mutagenesis* 29, 115–121, <https://doi.org/10.1093/mutage/get068>

Balls M., 2022. Alternatives to laboratory animals: Trends in replacement and the three rs. *Altern. Lab. Anim.* 50, 10–26, <https://doi.org/10.1177/0261192922108225>

Bolker J., 2012. There's more to life than rats and flies. *Nature* 491, 31–33, <https://doi.org/10.1038/491031a>

Carrola J., Bastos V., Jarak I., Oliveira-Silva R., Malheiro E., Daniel-da-Silva A.L., Oliveira H., Santos C., Gil A.M., Duarte I.F., 2016. Metabolomics of silver nanoparticles toxicity in HaCaT cells: Structure-activity relationships and role of ionic silver and oxidative stress. *Nanotoxicology* 10, 1105–1117, <https://doi.org/10.1080/17435390.2016.1177744>

Cheng J., Zug K.A., 2014. Fragrance allergic contact dermatitis. *Dermatitis* 25, 232–245.

Creager A.N.H., 2022. Model organisms unbound. *J. Hist. Biol.* 55, 21–28, <https://doi.org/10.1007/s10739-022-09675-8>

Desprez B., Dent M., Keller D., Klaric M., Ouédraogo G., Cubberley R., Duplan H., Eilstein J., Ellison C., Grégoire S., Hewitt N.J., Jacques-Jamin C., Lange D., Roe A., Rothe H., Blaauboer B.J., Schepky A., Mahony C., 2018. a strategy for systemic toxicity assessment based on non-animal approaches: the Cosmetics Europe Long

Range Science Strategy programme. *Toxicol. in Vitro* 50, 137–146,
<https://doi.org/10.1016/j.tiv.2018.02.017>

Draize J., Woodard G., Calvery H., 1944. Methods for the study of irritation and toxicity substances applied topically to the skin and mucous membrane. *J. Pharmacol. Exp. Ther.* 82, 377–390.

Fox M., 1986. *Laboratory animal husbandry. Ethology, welfare and experimental variables.* State University of New York Press, New York.

Green S., 2024. *Animal Models of Human Disease.* Cambridge University Press.

Hahn T., Schaefer U.F., Lehr C.M., 2010. Measuring skin absorption in vitro. *SÖFW-Journal* 136, 1–2.

Huber L., Keuck L.K., 2013. Mutant mice: Experimental organisms as materialised models in biomedicine. *Stud. Hist. Philos. Sci.* 44, 385–391,
<https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.03.001>

Lilienblum W., Dekant W., Foth H., Gebel T., Hengstler J.G., Kahl R., Kramer P.J., Schweinfurth H., Wollin K.-M., 2008. Alternative methods to safety studies in experimental animals: role in the risk assessment of chemicals under the new European chemicals legislation (REACH). *Arch. Toxicol.* 82, 211–236,
<https://doi.org/10.1007/s00204-008-0279-9>

Matthews B.J., Voss hall L.B., 2020. How to turn an organism into a model organism in 10 ‘easy’ steps. *J. Exp. Biol.* 223, jeb218198, <https://doi.org/10.1242/jeb.218198>

Nelson N., 2016. Model homes for model organisms: Intersections of animal welfare and behavioral neuroscience around the environment of the laboratory mouse. *BioSocieties* 11, 46–66, <https://doi.org/10.1057/biosoc.2015.19>

OECD 2013. Test No. 430: *In Vitro* Skin Corrosion: Transcutaneous Electrical Resistance Test Method (TER). OECD Publishing, Paris.

OECD 2020. Test No. 471: Bacterial Reverse Mutation Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paris.

OECD 2021. Test No. 439: In Vitro Skin Irritation: Reconstructed Human Epidermis Test Method, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4, OECD Publishing, Paris.

OECD 2022. Test No. 406: Skin Sensitisation, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2023a. Test No. 405: Acute Eye Irritation/Corrosion, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2023b. Test No. 487: In Vitro Mammalian Cell Micronucleus Test, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2024a. Test No. 442B: Skin Sensitization: Local Lymph Node Assay: BrdU-ELISA or –FCM, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2024b. Test No. 442C: In Chemico Skin Sensitisation: Assays addressing the Adverse Outcome Pathway key event on covalent binding to proteins, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2024c. Test No. 442D: In Vitro Skin Sensitisation: Assays addressing the Adverse Outcome Pathway Key Event on Keratinocyte activation, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

OECD 2024d. Test No. 442E: *In Vitro* Skin Sensitisation: *In Vitro* Skin Sensitisation assays addressing the Key Event on activation of dendritic cells on the Adverse Outcome Pathway for Skin Sensitisation, OECD Guidelines for the Testing of Chemicals, Section 4. OECD Publishing, Paryż.

Olejniki A., Gościńska J., Nowak I., 2011. Zastosowanie modeli sztucznej skóry do badań kosmetyków innowacyjnych. *Chemik* 65, 2, 76–81.

Sakai A., Sasaki K., Hayashi K., Muramatsu D., Arai S., Endou N., Kuroda S., Poth A., Bohnenberger S., Kunkelmann T., Asakura M., Hirose H., Ishii N., Mizuhashi F., Kasamoto S., Nagai M., Pant K., Bruce S.W., Sly J.E., Yamazaki S., Tanaka N., 2011. An international validation study of a Bhas 42 cell transformation assay for the prediction of chemical carcinogenicity. *Mutat. Res.* 725, 57–77, <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2011.07.006>

Schroeder K., Bremm K.D., Alépée N., Bessems J.G.M., Blaauboer B., Boehn S.N., Burek C., Coecke S., Gombau L., Hewitt N.J., Heylings J., Huwyler J., Jaeger M., Jagelavicius M., Jarrett M., Ketelslegers H., Kocina I., Koester J., Kreysa J., Note R.,

Poth A., Radtke M., Rogiers V., Scheel J., Schulz T., Steinkellner H., Toeroek M., Whelan M., Winkler Y., Diembeck W., 2011. Report from the EPAA workshop: In vitro ADME in safety testing used by EPAA industry sectors. *Toxicol. In Vitro* 25, 589–604, <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2010.12.005>

Uter W., Bensefa-Colas L., Frosch P., Giménez-Arnau A., John S.M., Lepoittevin J.P., Lidén C., White I.R., Duus Johansen J., 2015. Patch testing with hair cosmetic series in Europe: a critical review and recommendation. *Contact Dermat.* 73, 69–81, <https://doi.org/10.1111/cod.12424>

Vinardell M.P, Mitjans M., 2017. Alternative methods to animal testing for the safety evaluation of cosmetic ingredients: an overview. *Cosmetics* 4, 30, <https://doi.org/10.3390/cosmetics4030030>

Volpe D.A., 2011. Drug-permeability and transporter assays in Caco-2 and MDCK cell lines. *Future Med. Chem.* 3, 2063–2077, <https://doi.org/10.4155/fmc.11.149>

Abstract

Testing cosmetic products on model organisms, such as laboratory animals, is a process aimed at assessing the safety and effectiveness of these products before they are released on the market. The way tests are carried out is strictly regulated by law and ethical standards to minimize animal suffering and ensure that tests are carried out responsibly. With increasing awareness of animal welfare, many countries have introduced strict regulations on animal testing. In the European Union, cosmetics testing on animals has been banned since 2013, which forced the development of alternative research methods, such as *ex vivo*, *in vitro*, and *in silico* tests. Effective alternatives to animal tests that will be able to provide reliable data on the safety and effectiveness of cosmetics are still being sought. The standards and reliable assessment methods that can replace existing animal procedures are still being created.

Key words: cosmetics, animal model organisms, alternative methods

Bezpieczeństwo surowców kosmetycznych i łańcucha dostaw w świetle zagrożeń cywilizacyjnych

Safety of cosmetic raw materials and supply chains in the light of civilization threats

Magdalena Toporowska

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin
e-mail: magdalena.toporowska@up.lublin.pl

Beata Ferencz

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin

Streszczenie

W przemyśle kosmetycznym bezpieczeństwo surowców jest kwestią krytyczną zarówno dla producentów, jak i konsumentów. Współczesna cywilizacja stoi w obliczu wielu zagrożeń środowiskowych, społecznych, technologicznych i ekonomicznych, obejmujących degradację środowiska i wyczerpywanie się zasobów, zmiany klimatu, konflikty zbrojne, nierówności ekonomiczne i naruszenia praw człowieka. Ponadto przyspieszający postęp w przełomowych technologiach stwarza poważne wyzwania, a szkodliwe skutki uboczne industrializacji i globalnych zmian przyczyniają się do zagrożeń ekonomicznych.

W niniejszym artykule, na podstawie przeglądu aktualnych danych literaturowych, przeanalizowano wpływ zagrożeń cywilizacyjnych na wieloaspektowe

bezpieczeństwo surowców kosmetycznych. Aspekty środowiskowe, regulacyjne i zdrowotne mogą mieć większy wpływ na jakość, w tym zanieczyszczenia chemiczne i biologiczne surowców. Natomiast zagrożenia ostatnich lat, takie jak epidemie/pandemie, konflikty zbrojne, wojny handlowe, w tym celne wpływają głównie na bezpieczeństwo łańcucha dostaw surowców. Organy regulacyjne, szczególnie w Unii Europejskiej, odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu bezpieczeństwa surowców kosmetycznych, promują także stosowanie alternatywnych i zrównoważonych metod pozyskiwania surowców. Zagrożenia środowiskowe dla bezpieczeństwa surowców kosmetycznych mogą być minimalizowane poprzez analizę ryzyka i wprowadzanie zasad zrównoważonego rozwoju w produkcji surowców kosmetycznych. Strategie stosowane w zrównoważonym pozyskiwaniu surowców przyczyniają się do zmniejszenia wpływu na środowisko, promowania efektywności wykorzystania zasobów, tworzenia efektywnych i zrównoważonych łańcuchów dostaw oraz spełniania wymogów ekonomicznych i regulacyjnych, co ostatecznie prowadzi do bardziej zrównoważonego przemysłu kosmetycznego.

Słowa kluczowe: skażenie środowiska, COVID-19, wojna, łańcuch dostaw

Wstęp

Bezpieczeństwo surowców kosmetycznych jest kwestią krytyczną zarówno dla producentów, jak i konsumentów [Salgueiro i in. 2010]. Organy regulacyjne, takie jak Komitet Naukowy ds. Bezpieczeństwa Konsumentów (ang. *Scientific Committee on Consumer Safety*, SCCS) Unii Europejskiej oraz Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków (ang. *U.S. Food and Drug Administration*, FDA), ustanowiły wytyczne i protokoły w celu oceny bezpieczeństwa składników stosowanych w produktach kosmetycznych. Bezpieczeństwo surowców kosmetycznych jest rozumiane głównie w kontekście braku zanieczyszczeń mikrobiologicznych, chemicznych i toksycznych. Ważne jest osiągnięcie jak najwyższych parametrów i standardów jakości. Producenci są zobowiązani do zapewnienia zgodności surowców z normami bezpieczeństwa przed włączeniem ich do gotowych produktów. Wraz ze wzrostem świadomości

konsumentów rośnie zapotrzebowanie na przejrzystość w zakresie pozyskiwania bezpiecznych składników, co skłania wiele firm do przyjęcia bardziej rygorystycznych praktyk testowania i dokumentowania bezpieczeństwa surowców kosmetycznych [Salguiero i in. 2010]. Wydarzenia ostatnich lat, takie jak nasilające się zmiany klimatu i ich skutki oraz globalne kryzysy, obejmujące konflikty zbrojne, wojny handlowe, w tym celne, czy pandemię COVID-19, wymagają obecnie zwrócenia uwagi również na wpływ i tych zagrożeń cywilizacyjnych na bezpieczeństwo surowców kosmetycznych.

Charakterystyka zagrożeń cywilizacyjnych

Współczesne zagrożenia cywilizacyjne można ogólnie podzielić na wyzwania środowiskowe, technologiczne, społeczne, ekonomiczne, a także geopolityczne. Globalne ocieplenie klimatu, eksplozja demograficzna, degradacja środowiska i wyczerpywanie się zasobów naturalnych to główne czynniki zagrożeń środowiskowych [Horne 2023]. Zagrożenia te obejmują również niszczenie siedlisk, zmniejszanie się różnorodności biologicznej, rosnące nierówności i przepływy uchodźców [Harari 2020, Taylor 2020]. Zagrożenia społeczne obejmują wojny, dysproporcje ekonomiczne, problemy z populacją i żywnością, problemy ekologiczne, epidemie i naruszenia praw człowieka [Srikanth 2014]. Zagrożenia technologiczne obejmują broń jądrową, chemiczną, biologiczną i informacyjną, a także robotykę i inżynierię genetyczną [Sztumski 2017], które wraz ze sztuczną inteligencją i nanotechnologią mogą doprowadzić do radykalnych zmian cywilizacyjnych [Eden i in. 2012]. Zagrożenia ekonomiczne wynikają z przekształcenia globalnej i liberalnej gospodarki, co prowadzi do nowych zagrożeń i ryzyk środowiskowych. Przejawami zagrożeń ekonomicznych są szkodliwe skutki uboczne industrializacji, emisja gazów cieplarnianych i degradacja miast [Sanghi i in. 2012]. Globalne zmiany, napędzane rosnącym poziomem populacji ludzkiej i rosnącą konsumpcją, wygenerowały problemy środowiskowe, które zagrażają cywilizacji, prowadząc również do trudnych do rozwiązania kwestii etycznych [Ehrlich 2014]. Główne kategorie zagrożeń wraz z przykładami w aspekcie bezpieczeństwa surowców kosmetycznych i łańcucha dostaw przedstawiono w tabeli 1 i omówiono w kolejnych rozdziałach.

Tabela 1. Główne kategorie zagrożeń wraz z przykładami w odniesieniu do bezpieczeństwa surowców kosmetycznych i łańcucha dostaw

Kategoria zagrożeń	Bezpieczeństwo surowców kosmetycznych	Bezpieczeństwo łańcucha dostaw
Środowiskowe	Zanieczyszczenie chemiczne i mikrobiologiczne surowców, degradacja gleby, skażenie radioaktywne, skutki powodzi, zmiany klimatu wpływające na uprawy surowców roślinnych	Zakłócenia dostaw z powodu katastrof naturalnych, ograniczenie dostępności surowców ze względu na zmiany klimatu i pustoszczenie
Technologiczne	Możliwość zanieczyszczenia surowców przez nowe technologie, np. nanocząstki, biotechnologiczne modyfikacje surowców i ich skutki uboczne	Cyberataki na systemy zarządzania łańcuchem dostaw, ryzyko fałszowania danych o pochodzeniu surowców, konieczność adaptacji nowych technologii (blockchain, IoT) do poprawy bezpieczeństwa
Społeczne	Naruszenia praw człowieka przy pozyskiwaniu surowców (praca dzieci, nieetyczne praktyki), brak transparentności w źródłach pochodzenia składników	Konflikty społeczne i migracje utrudniające transport i produkcję, wzrost oczekiwań konsumentów co do zrównoważonych i etycznych łańcuchów dostaw
Ekonomiczne	Wzrost kosztów surowców z powodu rosnącej konkurencji i ograniczonych zasobów, wpływ inflacji na ceny surowców	Podwyżki cen transportu i energii, konieczność dywersyfikacji źródeł dostaw w celu minimalizacji ryzyka rynkowego
Geopolityczne	Ograniczenia eksportu/importu surowców w wyniku sankcji gospodarczych, wojen celnych, embargo	Zakłócenia w transporcie (np. wojna w Ukrainie), sankcje na kluczowych dostawcach, wzrost kosztów transportu i energii
Pandemie i kryzysy zdrowotne	Możliwe skażenia surowców przez patogeny, konieczność zapewnienia dodatkowych standardów higieny	Zakłócenia w produkcji i logistyce (zamknięcia granic, wzrost kosztów transportu), zmiany w popycie na określone produkty

Przykłady wpływu zagrożeń cywilizacyjnych na bezpieczeństwo surowców kosmetycznych

Naturalne surowce stanowiące składniki kosmetyczne są potencjalnie narażone na różne zanieczyszczenia mikrobiologiczne, chemiczne i toksyczne, zarówno na etapie produkcji, jak i w każdym etapie łańcucha dostaw [Manful i in. 2024]. Na jakość i skład surowców roślinnych wpływają ogólne warunki uprawy (gleba, klimat, nawadnianie), a także stosowanie nawozów mineralnych i organicznych oraz pestycydów [Salgueiro i in. 2010]. Nagłe katastrofy środowiskowe, takie jak powodzie obserwowane w wielu regionach świata, w tym we wrześniu 2024 roku w Europie centralnej, wpływają negatywnie na jakość gleb, powodując między innymi ich erozję oraz zanieczyszczenia mikrobiologiczne, chemiczne czy toksyczne, które mogą wykluczyć grunty rolne z użytkowania przez dłuższy okres. Wystąpienie zjawisk powodziowych na danym terenie bezwzględnie wyklucza z użytkowania surowce, które uległy zalaniu [Sili i in. 2020].

Istotnym zagrożeniem jest radioaktywność i katastrofy nuklearne. Po katastrofie w Czarnobylu kwestia skażenia radioaktywnego stała się ważnym problemem przemysłu rolnego, farmaceutycznego i ziołowego. W pierwszych kilku miesiącach po wypadku silnie skażone były na przykład ziołowe leki z Europy Wschodniej. Wspólnota Europejska (WE) wprowadziła górne limity dla produktów spożywczych (maks. 600 Bq/kg). W latach 1991 i 1992 WE nakazała środki regulacyjne w celu wyłączenia skażonych radioaktywnie roślin leczniczych z użytkowania [Witchl i in. 2002]. W ostatnich latach na skutek wojny w Ukrainie wzrosło zagrożenie związane z nowym potencjalnym skażeniem radioaktywnym w Europie w wyniku awarii bądź celowego zniszczenia przez Rosjan Zaporowskiej Elektrowni Jądrowej (Ukraina), które byłoby przejawem ataku terrorystycznego [Duliba 2023]. Zanieczyszczenie i dewastacja środowiska, rabunkowe pozyskiwanie surowców oraz postępujące zmiany klimatyczne skutkujące pustynnieniem, pożarami i zmianami w ekosystemach pociągają za sobą spadek bioróżnorodności, co może mieć ogromny wpływ na pozyskiwanie i dostawę surowców egzotycznych pochodzących z terenów naturalnych [Nguyen i in. 2024].

Przykłady wpływu zagrożeń cywilizacyjnych na bezpieczeństwo łańcucha dostaw

Łańcuch dostaw stanowi zespół działań, mających na celu efektywną integrację dostawców, producentów, miejsc składowania oraz punktów sprzedaży; w łańcuchu dostaw funkcjonują trzy podstawowe przepływy, tj. przepływ informacji, przepływ produktów oraz przepływ pieniędzy pomiędzy poszczególnymi ogniwami łańcucha [Rutkowski 2004]. Szybka poprawa globalnych standardów łączności podniosła poziom handlu między stronami [Hassija i in. 2020]. Zaawansowane standardy komunikacyjne umożliwiają handel wszystkimi rodzajami towarów i usług. Ponadto towary i usługi wyprodukowane lub świadczone pierwotnie w danym regionie często w dalszych etapach rozwoju wchodzą na rynki zagraniczne. Łańcuchy dostaw odgrywają zasadniczą rolę w handlu surowcami kosmetycznymi i gotowymi produktami. Konieczne jest utrzymanie przejrzystości, bezpieczeństwa i wiarygodności powiązanych łańcuchów dostaw. Pojawiają się różne nowe technologie, takie jak blockchain, czyli zdecentralizowany, cyfrowy system rejestrów, który gwarantuje bezpieczeństwo danych bez potrzeby angażowania centralnego organu lub pośrednika. Jego sieć składa się z wielu rozproszonych uczestników, zwanych węzłami, które współpracują w procesie zatwierdzania transakcji. Kolejnymi elementami są uczenie maszynowe (ang. *machine learning*, ML) i fizycznie nieklonowalne funkcje (ang. *physically unclonable functions*, PUFs), stosowane równolegle z blockchain, jako rozwiązania luk w zabezpieczeniach istniejącej infrastruktury łańcucha dostaw. Ostatnie badania – omówione przez Hassija i in. [2020], ujawniają rosnące zainteresowanie nowymi technologiami, takimi jak Internet rzeczy (ang. *internet of things*, IoT), blockchain, ML i AI (ang. *artificial intelligence* – sztuczna inteligencja). W związku z tym, obecnie cyberataki powiązane m.in. z konfliktami zbrojnymi, mogą stanowić istotne zakłócenia w łańcuchu dostaw.

W ostatnich latach, w trakcie pandemii COVID-19 wystąpiły znaczące zakłócenia w łańcuchach dostaw, w tym surowców kosmetycznych. Doprowadziło to do wielu wyzwań, takich jak zakłócenia w produkcji (powszechne wstrzymanie produkcji surowców z powodu blokad i ograniczeń, wpływających na dostępność niezbędnych komponentów do produkcji kosmetyków), wyzwania logistyczne (zamknięcia granic

i ograniczenia w transporcie doprowadziły do opóźnień i wzrostu kosztów w łańcuchu dostaw), wahania popytu i nierównowaga popytu i sprzedaży komplikujące zarządzanie zapasami (zmiana popytu konsumenckiego ze zwiększonym naciskiem na produkty higieniczne, co wpłynęło na popyt na niektóre inne produkty kosmetyczne) [Xu i in. 2020, Rahman i in 2023]. Ponadto wzrost kosztów surowców i ogólnych operacji łańcucha dostaw – jako połączony efekt zakłóceń produkcyjnych i logistycznych – doprowadził do wyższych kosztów surowców i kosztów ogólnych. Kolejnym elementem było ryzyko bankructwa, na które szczególnie narażone były małe i średnie przedsiębiorstwa (MŚP) [Fikus i Skórny 2022]. Aby złagodzić te zakłócenia, zasugerowano zwiększenie odporności łańcucha dostaw poprzez regionalizację i digitalizację. Działanie obejmuje opracowanie dynamicznych zasad w zarządzaniu zapasami i optymalizację strategii transportowych w celu lepszego zarządzania przyszłymi ryzykami. Dobre praktyki produkcyjne, takie jak zapewnienie higienicznej produkcji i bezpieczeństwa pracowników, stały się najważniejsze – wymagało to także dodatkowych środków w celu utrzymania standardów jakości i bezpieczeństwa w czasie pandemii [Alparslan 2022]. Pozytywnym aspektem pandemii był wzrost znaczenia innowacji, transformacji i szybkiej adaptacji do zjawiska, co sprawiło, że w wielu przypadkach biznes kosmetyczny nadal się rozwijał, a nawet był w stanie pozyskać nowy potencjał rynkowy [Farisha i in. 2021, Park i in. 2023]. Pandemia COVID-19 spowodowała również zmianę w kierunku pozyskiwania bezpieczniejszych, bardziej zrównoważonych i funkcjonalnych surowców kosmetycznych, ze szczególnym naciskiem na skuteczną konserwację i naturalne składniki, aby sprostać zwiększonym obawom konsumentów dotyczącym bezpieczeństwa [Farisha i in. 2021, Alparslan 2022, Park i in. 2023].

Niespodziewany konflikt zbrojny w Ukrainie spowodował opuszczenie tego kraju przez ponad 11 milionów obywateli. Skutkowało to zablokowaniem ciągów komunikacyjnych oraz przejść granicznych, głównie z Polską. Jednym z wielu skutków wojny było nałożenie przez Unię Europejską i większość krajów świata wielu sankcji na Rosję, które wpłynęły negatywnie na łańcuchy dostaw [Fikus i Skórny 2022]. Sankcje objęły m.in. zakaz sprzedaży, wywozu i dostaw do Rosji towarów, które pochodzą z Unii oraz zakaz pomocy finansowej i udzielania finansowania publicznego na rzecz handlu z Rosją. Odcięcie przez Gazprom wielu krajów od

dostaw gazu, którego ceny znacznie wzrosły, zmusiło UE do poszukiwania innych źródeł paliwa i energii oraz przyspieszenia transformacji energetycznej. Ogromny wpływ na logistykę zarówno europejską, jak i globalną miało również zamknięcie przestrzeni powietrznej nad Ukrainą oraz zakaz lotów dla rosyjskich samolotów nad terytoriami poszczególnych państw członkowskich UE. Alternatywne trasy dla lotów pomiędzy Europą i Azją wydłużyły czas lotów oraz spowodowały wzrost kosztów transportu. Gwałtowny wzrost cen surowców oraz paliw, w tym paliwa lotniczego Jet A-1 do silników odrzutowych, był kolejnym skutkiem konfliktu zbrojnego. Według danych Międzynarodowego Stowarzyszenia Transportu Lotniczego (ang. *International Air Transport Association*, IATA) średnia cena baryłki paliwa lotniczego w 2022 roku wzrosła o 82%, w porównaniu z poprzednim rokiem. Czołowi przewoźnicy cargo na skutek rosnących cen paliw podnieśli ceny usług. Miało to wpływ na spadek popytu na przewozy interkontynentalne z wykorzystaniem samolotów cargo, jak i pasażerskich [Fikus i Skórny 2022, Chu i in. 2024]. Zwiększenie wydatków na zbrojenie się wraz z rosnącymi cenami produktów ropopochodnych, energii, kosztów transportu skutkowało widocznym wzrostem inflacji, co ponownie istotnie wpłynęło na funkcjonowanie łańcuchów dostaw. Na przykład inflacja w Polsce we wrześniu 2022 roku wyniosła aż 17,2%, podczas gdy we wrześniu 2021 roku wynosiła 5,9% [Fikus i Skórny 2022].

Wojna handlowa to szerokie pojęcie, obejmujące wszelkie działania jednego państwa mające na celu ograniczenie handlu z innym państwem w celu osiągnięcia przewagi gospodarczej lub politycznej. Może obejmować: podnoszenie cła (wojna celna), nakładanie sankcji handlowych, subwencjonowanie krajowych firm kosztem zagranicznych czy blokady eksportu i importu. Przykładem jest wojna handlowa Stany Zjednoczone–Chiny (2018–2020), gdzie Stany Zjednoczone nałożyły cła na chińskie produkty, a Chiny odpowiedziały podobnymi działaniami [Klomp 2025]. Wojna celna to jeden z elementów wojny handlowej, polega na podwyższaniu cła na towary importowane w celu ochrony własnej gospodarki lub osłabienia gospodarki innego kraju. Przykładem jest wprowadzenie w latach 30. XX wieku przez Stany Zjednoczone ustawy Smoota-Hawleya, drastycznie podnoszącej cła na towary importowane, co doprowadziło do odwetu ze strony innych krajów i globalnego spadku handlu [Irwin 1998]. Przykładem jest również wojna celna Stanów

Zjednoczonych z Kanadą, Meksykiem i Chinami, zainicjonowana po objęciu przez Donalda Trumpa prezydentury w styczniu 2025 roku. Wojny handlowe i celne zakłócają bezpieczeństwo łańcucha dostaw, powodując wzrost kosztów, opóźnienia w dostawach oraz zmuszając firmy do dywersyfikacji źródeł zaopatrzenia i restrukturyzacji logistycznej [Klomp 2025].

Zrównoważone pozyskiwanie surowców kosmetycznych jako antidotum na negatywne oddziaływanie zagrożeń cywilizacyjnych

Zrównoważone pozyskiwanie surowców kosmetycznych obejmuje różne kwestie środowiskowe, ekonomiczne i regulacyjne, w tym dotyczące łańcucha dostaw, takie jak zastępowanie konwencjonalnych składników zrównoważonymi alternatywami, fair trade i recykling [Bom i in. 2019, Martins i Marto 2023]. Strategie te przyczyniają się do zmniejszenia wpływu na środowisko, jak wylesianie i zanieczyszczanie, jednocześnie promując bioróżnorodność i efektywne wykorzystanie zasobów [Schmidt 2012, Bom i in. 2019]. Zrównoważone pozyskiwanie surowców wpływa na łańcuch dostaw, ponieważ wymaga wyboru optymalnych strategii w ramach heterogenicznych komponentów łańcucha dostaw, w tym opracowywania zrównoważonych opakowań, które minimalizują koszty zewnętrzne i są akceptowalne zarówno przez konsumentów, jak i producentów [Cubas i in. 2022, Dube i Dube 2023]. Obejmuje również agregację zrównoważonych działań i innowacji w celu przyczynienia się do realizacji Celów Zrównoważonego Rozwoju ONZ, tworząc w ten sposób bardziej odporne i zrównoważone społeczeństwa [Cubas i in. 2022]. Implikacje ekonomiczne zrównoważonego pozyskiwania surowców kosmetycznych są widoczne w redukcji odpadów i zużycia energii w całym procesie produkcji i stosowania kosmetyków, a także w wyborze odpowiednich surowców, które mają duży wpływ na zrównoważenie formułacji kosmetycznych [Cubas i in. 2022, Krzyżostan i in. 2024]. Ponadto wykorzystanie produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego i odpadów do produkcji surowców kosmetycznych, wraz z optymalizacją procesu emulsyfikacji, poprzez stosowanie metod niskoenergetycznych, przyczynia się do zrównoważonego rozwoju gospodarczego poprzez redukcję śladu węglowego i zachowanie cennych właściwości wykorzystywanych surowców [Merino i Sepulveda 2022, Krzyżostan i in. 2024].

Prawne rozwiązania regulacyjne dotyczące zrównoważonego pozyskiwania surowców kosmetycznych obejmują przestrzeganie standardów i norm, takich jak USDA/NOP, COSMOS, Ecocert, NaTrue, BDIH i ISO 16128, które między innymi kontrolują wybór surowców, etapy produkcji i opakowania w celu zapewnienia ochrony środowiska, zasobów przyrody, w tym bioróżnorodności i zdrowia ludzi.

Wnioski

Nasilające się globalne kryzysy i zagrożenia cywilizacyjne wywierają znaczący wpływ na bezpieczeństwo surowców kosmetycznych i funkcjonowanie łańcuchów dostaw. Konieczne jest wprowadzanie działań związanych z adaptacją do zmian klimatu, znalezienie sposobów na wzrost poziomu bezpieczeństwa środowiska oraz ciągłości przepływów materiałów. Istotne w tej materii jest postępowanie zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz niezbędna jest współpraca międzynarodowa, również na polu pokojowego rozwiązywania konfliktów zbrojnych.

Bibliografia

- Alparslan A.L., 2022. Basic good manufacturing practices (GMP), special conditions and inspection processes in the Covid19 (SARS-CoV-2) pandemic. *J. Res. Pharm.* 26(6), 1527–1538, <http://dx.doi.org/10.29228/jrp.247>
- Bom S., Jorge J., Ribeiro H.M., Marto J.O.A.N.A., 2019. A step forward on sustainability in the cosmetics industry: a review. *J. Clean. Prod.* 225, 270–290, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.255>
- Chu C., Zhang H., Zhang J., Cong L., Lu F., 2024. Assessing impacts of the Russia-Ukraine conflict on global air transportation: From the view of mass flight trajectories. *JATM* 115, 102522, <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102522>
- Cubas A.L.V., Bianchet R.T., Reis I.M.A.S.D., Gouveia I.C., 2022. Plastics and microplastic in the cosmetic industry: aggregating sustainable actions aimed at alignment and interaction with UN sustainable development goals. *Polymers* 14(21), 4576, <https://doi.org/10.3390/polym14214576>

Dube M., Dube S., 2023. Towards sustainable color cosmetics packaging. *Cosmetics* 10(5), 139, <https://doi.org/10.3390/cosmetics10050139>

Duliba Y.E., 2023. Nuclear safety: a global challenge in the context of the war in Ukraine. *J.E.R.L.* 41(3), 321–333, <https://doi.org/10.1080/02646811.2022.2145018>

Eden A.H., Steinhart E., Pearce D., Moor J.H., 2012. Singularity hypotheses: an overview. W: Eden A., Moor J., Søraker J., Steinhart E. (eds.) *Singularity hypotheses*. The Frontiers Collection. Springer, Berlin, Heidelberg.

Ehrlich P.R., 2014. Human impact: the ethics of I=PAT. *ESEP* 14(1), 11–18, <https://doi.org/10.3354/esep00151>

Farisha M., Hartoyo, Safari A., 2021. Transformation of the cosmetic industry due to the COVID-19 pandemic. *Int. J. Res. Rev.* 8, 627–633.

Fikus J., Skórnoń D., 2022. Wpływ globalnych kryzysów na zakłócenia w łańcuchach dostaw. *Management & Quality/Zarządzanie i Jakość*, 4(4), 92–108.

Harari Y.N., 2020. How to survive the 21st century: Three existential threats to humanity. *JDPP*, 3(4), 463–468.

Hassija V., Chamola V., Gupta V., Jain S., Guizani N., 2020. A survey on supply chain security: Application areas, security threats, and solution architectures. *IEEE Internet Things J.* 8(8), 6222–6246, DOI:10.1109/JIOT.2020.3025775

Horne J., 2023. What is promoting human extinction? W: *Managing complexity through social intelligence: Foundations of the modern organic corporatist state*. Cham, Springer International Publishing.

Irwin D.A., 1998. The Smoot-Hawley tariff: a quantitative assessment. *Rev. Econ. Stat.* 80(2), 326–334, <https://doi.org/10.1162/003465398557410>

Klomp J., 2025. Trump tariffs and the US defense industry. *PloS one* 20(1), e0313204, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0313204>

Krzyżostan M., Wawrzyńczak A., Nowak I., 2024. Use of waste from the food industry and applications of the fermentation process to create sustainable cosmetic products: a review. *Sustainability* 16(7), 2757, <https://doi.org/10.3390/su16072757>

- Manful M.E., Ahmed L., Barry-Ryan C., 2024. Cosmetic formulations from natural sources: Safety considerations and legislative frameworks in the European Union. *Cosmetics*, 11(3), 72, <https://doi.org/10.3390/cosmetics11030072>
- Martins A.M., Marto J.M., 2023. A sustainable life cycle for cosmetics: From design and development to post-use phase. *Sustain. Chem. Pharm.*, 35, 101178, <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101178>
- Merino L., Sepulveda J., 2022. Eco-design of products as an energy-environmental strategy for agro-industrial development. *Chem. Eng. Trans.*, 96, 403–408, <https://doi.org/10.3303/CET2296068>
- Nguyen M.H., Nguyen Q.Y.T., Vuong Q.H., 2024. The beauty industry, climate change, and biodiversity loss. *Vis. Sustain.* 22, 1–17.
- Park Y.W., Hong P., Shin G.C., 2023. Rising and thriving in the post COVID-19 era: a case study of COSMAX, a leader of the Korean cosmetic industry. *Asia Pac. Bus. Rev.*, 29(4), 1105–1124, <https://doi.org/10.1080/13602381.2022.2059955>
- Rahman T., Paul S.K., Shukla N., Agarwal R., Taghikhah F., 2023. Dynamic supply chain risk management plans for mitigating the impacts of the COVID-19 pandemic. *IJSS: O&L* 10(1), 2249815, <https://doi.org/10.1080/23302674.2023.2249815>
- Rutkowski K., 2004. Zarządzanie łańcuchem dostaw – próba sprecyzowania terminu i określenia związków z logistyką. Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne SA, Warszawa.
- Salgueiro L., Martins A.P., Correia H., 2010. Raw materials: the importance of quality and safety. a review. *Flavour Fragr. J.* 25(5), 253–271, <https://doi.org/10.1002/ffj.1973>
- Sanghi R., Singh V., Sharma S.K., 2012. Environment and the role of green chemistry. W: Sanghi R., Singh V. (red.). *Green chemistry for environmental remediation*. John Wiley & Sons.
- Schmidt B.M., 2012. Responsible use of medicinal plants for cosmetics. *HortScience* 47(8), 985–991, <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.47.8.985>

Sîli N., Apostu I., Faur F., 2020. Floods and their effects on agricultural productivity. *Res. J. Agric. Sci.* 52(4), 113–122.

Srikanth D., 2014. Non-traditional security threats in the 21st century: a review. *IJDC* 4(1), 60–68.

Sztumski W., 2017. Troublesome evaluation of technological innovations. Balancing between a blessing and a bane of the technological progress. *Probl. Sustain. Dev.* 12(2), 7–13.

Taylor K.B., 2020. The passing of western civilization. *Futures* 122, 102582, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2020.102582>

Wichtl M., 2004. Herbal drugs and phytopharmaceuticals: a handbook for practice on a scientific basis. CRC press.

Xu Z., Elomri A., Kerbache L., El Omri A., 2020. Impacts of COVID-19 on global supply chains: Facts and perspectives. *IEEE Eng. Manag. Rev.* 48(3), 153–166, 10.1109/EMR.2020.3018420

Abstract

Raw material safety is critical for manufacturers and consumers in the cosmetics industry. Modern civilization faces many environmental, social, technological, and economic threats, including environmental degradation and resource depletion, as well as social problems such as wars, economic inequality, and human rights violations. Moreover, the accelerating progress in disruptive technologies poses serious challenges, and the harmful side effects of industrialization and global changes contribute to economic threats. Based on a review of current literature, this article analyzes the impact of civilization threats on the multifaceted safety of cosmetic raw materials. Environmental, regulatory, and health aspects may have a greater impact on the quality and chemical and biological contamination of raw materials, while recent threats such as epidemics/pandemics and armed conflicts mainly affect the safety of the raw material supply chain. Regulatory bodies, especially in the European Union, play a key role in ensuring the safety of cosmetic

raw materials and promoting alternative and sustainable methods of obtaining raw materials. Environmental threats to the safety of cosmetic raw materials can be minimized by risk analysis and the implementation of sustainable development principles in cosmetic raw materials production. Strategies used in sustainable raw material sourcing reduce environmental impact, promote resource efficiency, create efficient and sustainable supply chains, and meet economic and regulatory requirements, ultimately leading to a more sustainable cosmetics industry.

Keywords: environmental contamination, COVID-19, war, supply chain

Możliwości wykorzystania AI w branży kosmetycznej

Possibilities of AI use in the cosmetics industry

Beata Ferencz

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin
e-mail: beata.ferencz@up.lublin.pl

Magdalena Toporowska

Katedra Hydrobiologii i Ochrony Ekosystemów, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Dobrzańskiego 37, 20–262 Lublin

Streszczenie

Sztuczna inteligencja (ang. *artificial intelligence*, AI) i uczenie maszynowe (ang. *machine learning*, ML) znacząco rozwinęły dziedziny opieki zdrowotnej i kosmetyologii. Niniejszy artykuł ma na celu prezentację zastosowań sztucznej inteligencji, a w szczególności głębokiego uczenia (ang. *deep learning*, DL) i konwolucyjnych sieci neuronowych (ang. *convolutional neural networks*, CNN). Konwolucyjne sieci neuronowe (CNN), będące jedną z kluczowych metod głębokiego uczenia (DL), wykazują bardzo wysoką skuteczność w klasyfikacji obrazów, segmentacji i wykrywaniu obiektów, co czyni je nieocenionymi w identyfikacji typu skóry na podstawie zdjęć twarzy. Możliwości predykcyjne sztucznej inteligencji usprawniają zabiegi kosmetyczne poprzez prognozowanie wymaganej liczby zabiegów laserowych i generowanie obrazów pooperacyjnych, aby pomóc pacjentom w podejmowaniu świadomych decyzji. Moc predykcyjna AI rozciąga się również na zarządzanie zapasami i satysfakcję klientów w branży kosmetycznej. Systemy oparte

na sztucznej inteligencji optymalizują poziomy zapasów, zmniejszają ilość odpadów i zapewniają spersonalizowane rekomendacje produktów poprzez analizę ogromnych zbiorów danych konsumenckich. Ponadto aplikacje AI w teleestetyce i spersonalizowanej pielęgnacji skóry rozszerzają dostęp do usług kosmetycznych dla grup społecznych z ograniczonym dostępem do nowoczesnych technologii kosmetycznych.

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, uczenie maszynowe odpowiedzialność etyczna, personalizacja produktu, problemy skórne

Wstęp

Medycyna od dawna wykorzystuje sztuczną inteligencję (ang. *artificial intelligence*, AI) do wspomagania powtarzalnych procedur wymagających ludzkiej wiedzy, takich jak analiza epidemiologiczna, diagnoza, leczenie i badania przesiewowe [Mintz i Brodie 2019]. Kategoria sztucznej inteligencji, znana jako uczenie maszynowe (ang. *machine learning*, ML), koncentruje się na tworzeniu modeli statystycznych i algorytmów, które pozwalają komputerom uczyć się z danych, bez jawnego programowania. Postępy w technologii sprzętu obliczeniowego spowodowały, że głębokie uczenie (ang. *deep learning*, DL) stało się niedawno ważną poddziedziną ML [LeCun i in. 2015]. Architektury głębokich sieci neuronowych pozwalają DL automatycznie wyodrębniać cechy z danych wejściowych, unikając konwencjonalnych metod inżynierii cech, które wymagają udziału ekspertów dziedzinowych [Chibani i Coudert 2020].

Dziedzina wizji komputerowej sztucznej inteligencji zmieniła opiekę zdrowotną i branżę kosmetyczną, umożliwiając komputerom diagnozowanie pacjentów poprzez analizę medycznych danych obrazowych [Kose i in. 2021]. Jednym z najpopularniejszych algorytmów głębokiego uczenia jest konwolucyjna sieć neuronowa (ang. *convolutional neural networks*, CNN). CNN, której początki sięgają lat 60. ubiegłego wieku [Puri i in. 2022], okazała się niezwykle skuteczna w zastosowaniach związanych z wizją komputerową [Hashimoto i in. 2019]. W dziedzinie głębokiego uczenia stała się standardową siecią neuronową [Jiang i in.

2022]. CNN znajduje swoje główne zastosowania w klasyfikacji obrazów [Sekaran i in. 2020, Borade i Kalbande 2021], segmentacji, wykrywaniu obiektów, przetwarzaniu wideo, przetwarzaniu języka naturalnego i rozpoznawaniu mowy. Szczególnie dobrze radzi sobie z trudnymi zadaniami wizualnymi, wymagającymi dużej mocy obliczeniowej [Pham i in. 2021]. CNN i DL mają potencjał do niezawodnego identyfikowania typów skóry na podstawie obrazów twarzy. Pomimo niewielkiej tendencji do klasyfikacji skóry tłustej, model klasyfikacji CNN wykazuje obiecującą dokładność na poziomie około 85%. Sugeruje to, że uczenie głębokie może stanowić bardziej niezawodny substytut tradycyjnych technik klasyfikacji typu skóry, prawdopodobnie poprawiając dokładność i wydajność.

Skupiając się na zdrowych pacjentach, kosmetologia jest wyjątkową dziedziną, w której często stosuje się miejscowe zabiegi, mające na celu poprawę wyglądu i kondycji skóry, zwłaszcza w przypadku problemów dermatologicznych, związanych z urodą. Takie zaburzenia dermatologiczne nie zagrażają bezpośrednio zdrowiu fizycznemu, ale mogą mieć duży negatywny wpływ na jakość życia [AlOtaibi i in. 2021]. Techniki AI i ML zostały w ostatnich latach włączone do postępowania w kosmetyce estetycznej w celu poprawy wyników. Przeprowadzono jednak niewiele badań nad wykorzystaniem AI i ML w tej dziedzinie

Wykorzystanie AI w kontekście prognozowania

Dokładne prognozowanie w branży kosmetycznej umożliwia na przykład lepsze zarządzanie zapasami poprzez przewidywanie poziomów zapasów wymaganych do zaspokojenia popytu klientów bez nadmiernego gromadzenia produktów [Bertsimas i Kallus 2020], co może wiązać kapitał i zwiększać koszty utrzymania [Gayam i in. 2021]. Planowanie serii produkcyjnych, utrzymywanie optymalnych poziomów surowców i kontrolowanie czasu realizacji w celu zaspokojenia popytu klientów wymagają określenia ilości produktu, który musi zostać wyprodukowany. Technologie AI stały się głównym czynnikiem umożliwiającym firmom podejmowanie lepszych decyzji, poprawę doświadczeń klientów i pobudzanie innowacji [Gayam i in. 2021]. Analiza klientów jest jednym z głównych obszarów, w których AI wywarła znaczący wpływ. Ogromne ilości danych konsumenckich, takich jak wzorce przeglądania,

wcześniejsze zakupy i dane demograficzne, mogą być analizowane przez systemy oparte na AI w celu generowania spersonalizowanych rekomendacji produktów i ukierunkowanych kampanii reklamowych. Ponieważ gusta i trendy konsumentów stale się zmieniają, branża kosmetyczna skorzystała na tym najbardziej. Co więcej, oparte na AI chatboty i wirtualni asystenci stają się coraz bardziej powszechni w sektorze kosmetycznym, oferując klientom wskazówki i wsparcie w czasie rzeczywistym, co dodatkowo poprawia jakość obsługi klienta [Chaturvedi i Verma 2023].

AI jest bardzo pomocna w branży kosmetycznej, w automatyzacji i usprawnianiu wielu procesów biznesowych. Systemy zarządzania zapasami oparte na sztucznej inteligencji mogą na przykład usprawnić łańcuchy dostaw, zmniejszając ilość odpadów i gwarantując, że odpowiednie towary są dostępne wtedy, gdy są potrzebne. Analityka predykcyjna oparta na AI może również pomóc firmom w przewidywaniu i dostosowywaniu się do zmieniających się potrzeb klientów, umożliwiając im dokonywanie lepszych wyborów dotyczących rozwoju produktów, marketingu i taktyk cenowych. AI jest również wykorzystywana w sektorze kosmetycznym w celu poprawy innowacyjności i rozwoju produktów. Technologie oparte na sztucznej inteligencji są wykorzystywane przez firmy do oceny opinii konsumentów, wykrywania trendów i tworzenia nowych produktów, które lepiej zaspokajają potrzeby rynku docelowego.

Wykorzystanie AI w dermatologii

Wiele badań wykazało, że DL działa lepiej niż ML w dziedzinie medycyny [Elder i in. 2021, Kang i in. 2022], zwłaszcza w dermatologii [Greywal i in. 2021, Vatiwutipong i in. 2023]. Ze względu na dużą liczbę danych medycznych, które zostały zgromadzone, dominujący wzorzec sugeruje, że technologie AI i ML będą coraz popularniejsze w dermatologii. Dane obrazowe, takie jak zdjęcia własne, histopatologiczne, kliniczne i dermoskopowe, mogą być wykorzystywane do uczenia maszynowego w dermatologii. Nie tylko dermatologia kliniczna, ale także teledermatologia zyskują na inteligentnym przetwarzaniu i wyszukiwaniu informacji z obrazów lub próbek pacjentów [Xiong i in. 2019]. Teledermatologia umożliwia

zdalne konsultacje online. Dermatologia kosmetyczna różni się od medycznej, ponieważ leczy zmiany skórne niespowodowane chorobą, takie jak zmarszczki, plamy starcze, piegi i melasma [Alam 2014]. Diagnozowanie chorób skóry znacznie zyskało na zastosowaniu konwolucyjnych sieci neuronowych [Salih i Duffy 2023]. Te zaawansowane modele DL mogą identyfikować i kategoryzować szeroki zakres chorób skóry z dużą dokładnością, od powszechnych problemów, takich jak trądzik, po poważniejsze schorzenia, takie jak czerniak. Dzieje się tak, ponieważ można je uczyć na dużych bazach danych klinicznych obrazów skóry [Ghaffar Nia i in. 2023].

Zastosowanie AI w analizie stanu zdrowia skóry twarzy

Coraz większy nacisk kładzie się na wykorzystanie technologii AI do analizy i diagnozowania stanu skóry twarzy. AI ma duży potencjał do wykorzystania w branży kosmetycznej, ponieważ może przetwarzać i analizować duże zbiory danych obrazów skóry z szybkością i skalą niespotykaną wcześniej, dostarczając lekarzom kluczowych informacji przy podejmowaniu decyzji.

Analiza stanu skóry twarzy poprzez przetwarzanie zdjęć cyfrowych o wysokiej rozdzielczości jest jednym z głównych zastosowań AI w sektorze kosmetycznym. Dokładniejsza i bardziej obiektywna ocena stanu skóry jest możliwa dzięki algorytmom opartym na sztucznej inteligencji, które mogą rozpoznawać i określać ilościowo różne cechy skóry, w tym teksturę, pigmentację i wielkość porów. Korzystając z tych danych, można tworzyć spersonalizowane procedury pielęgnacji skóry, śledzić skuteczność zabiegów, a nawet przewidywać, kiedy pojawią się określone schorzenia skóry.

Dziedzina dermatologii estetycznej stale się zmienia, aby zaspokoić potrzeby społeczeństwa, które ceni sobie wygląd. Ta podspecjalność dermatologii zajmuje się takimi kwestiami, jak pigmentacja, fotouszkodzenia czy zmarszczki i zwiotczała skóra, mając na celu poprawę wyglądu. Aby pomóc pacjentom w osiągnięciu pożądaných rezultatów kosmetycznych, dermatolodzy kosmetyczni muszą podchodzić do tych problemów z połączeniem technik artystycznych i wiedzy naukowej opartej na dowodach.

Jedną z najbardziej czasochłonnych procedur w dermatologii estetycznej są niewątpliwie konsultacje kosmetyczne. Każdy pacjent ma unikalne obawy, typy skóry i predyspozycje, więc dermatolog musi zwracać szczególną uwagę na te czynniki podczas przepisywania zabiegów, aby zapewnić najlepszą szansę na osiągnięcie pożądaných efektów estetycznych.

Dzięki szybkiemu diagnozowaniu stanów kosmetycznych, analiza obrazu AI może być wykorzystana do przyspieszenia konsultacji [Kitamura 2023]. Klasyfikacje jakości skóry są istotnymi elementami konsultacji kosmetycznych. Tradycyjne oceny jakości skóry opierają się na klasycznej obserwacji, która może być bardzo subiektywna i trudna do oceny. Jednak dzięki zastosowaniu rozpoznawania obrazu i analizy AI, praktycy mogą zapewnić dokładniejszą i obiektywną ocenę [Elder i in. 2024].

Przy wyborze najlepszego sposobu leczenia dla pacjenta, grubość skóry jest kluczowym czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę. Może również pomóc lekarzom lepiej zrozumieć obszary budzące niepokój u ich pacjentów. Niestety, konwencjonalna metoda pomiaru grubości skóry wymaga pobrania biopsji i zastosowania korelacji klinicznej, co może być inwazyjne i czasochłonne [Chopra i in. 2015]. Jak wykazało badanie Hu i in. [2022], w którym wykorzystano DL i przetwarzanie obrazu do pomiaru grubości naskórka w celu oceny produkcji lub utraty kolagenu bez biopsji pacjenta, AI znacznie zoptymalizowała ten proces.

Dzięki identyfikacji określonych kolorów i pigmentów na twarzach pacjentów w leczeniu z zastosowaniem lasera, określenie właściwego typu i długości fali zostało znacznie ułatwione. Holcomb [2021] badał system skóry VISIA AI firmy Canfield, który mierzy stan skóry na powierzchni i pod powierzchnią za pomocą oświetlenia UV i polaryzacji krzyżowej. Dzięki wykorzystaniu technologii VISIA AI możliwe jest precyzyjne określenie zmian pigmentacyjnych, uszkodzeń posłonecznych czy naczyń krwionośnych, co pozwala na bardziej spersonalizowany dobór parametrów zabiegowych. To z kolei zwiększa skuteczność terapii laserowych i minimalizuje ryzyko powikłań.

AI w personalizacji produktów kosmetycznych

W kontekście zabiegów laserowych sztuczna inteligencja znajduje zastosowanie w modelowaniu predykcyjnym, pomagając specjalistom precyzyjnie prognozować liczbę wymaganych procedur oraz potencjalne wyniki terapii. Przykładowo, przy użyciu sztucznych sieci neuronowych (ang. *artificial neural networks*, ANN) przewidziano liczbę koniecznych zabiegów z zastosowaniem lasera Excimer.

Ta technika modelowania predykcyjnego może być stosowana do kosmetycznych zabiegów laserowych w leczeniu dyschromii lub blizn potrądzikowych [Brehar i in. 2020]. Pacjenci mogą korzystać z symulowanych przez AI obrazów pooperacyjnych, które są generowane na podstawie obrazów wyjściowych, celem podejmowania świadomych decyzji dotyczących przebiegu leczenia. Oprócz oszacowania prawdopodobnych wydatków, przewidywane wyniki pomagają pacjentom w podejmowaniu świadomych decyzji finansowych. Może to pomóc pacjentowi i lekarzowi w skuteczniejszym planowaniu przy określaniu, które zabiegi należy traktować priorytetowo, a które powtórzyć.

Klienci mają często trudności z wyborem idealnego produktu kosmetycznego ze względu na szeroką gamę składników i opcji produktów. Moc predykcyjna AI może dopasować oczekiwania pacjentów do realistycznych efektów kosmetycznych, umożliwiając im podejmowanie świadomych decyzji [Pascucci i in. 2023]. Ponadto dzięki aplikacjom domowym, teleestetyce [Mintz i Brodie 2019] i spersonalizowanej pielęgnacji skóry, AI rozszerza dostęp do kosmetologów i spersonalizowanych produktów kosmetycznych dla szerokiego grona konsumentów, w tym osób z grup dotychczas pomijanych lub niedostatecznie reprezentowanych w branży kosmetycznej.

AI znacznie rozwinęła się w dziedzinie kosmetologii, zapewniając możliwości predykcyjne, które poprawiają zadowolenie pacjentów poprzez dopasowanie pożądanых wyników do rzeczywistych. Technologia ta daje pacjentom namacalny podgląd tego, czego mogą się spodziewać po zabiegach kosmetycznych, umożliwiając im podejmowanie świadomych decyzji. Precyzyjne prognozowanie wyników jest niezbędne, ponieważ pomaga chirurgom kosmetycznym i ich pacjentom skoncentrować się na wykonalnych i satysfakcjonujących planach. Zabiegi

kosmetyczne, w przeciwieństwie do procedur wymaganych medycznie, zapewniają wiele opcji, na które wpływają preferencje pacjenta i ograniczenia finansowe [Pascucci i in. 2023].

W branży kosmetycznej zadowolenie klientów ma kluczowe znaczenie, ponieważ wpływa na zakup produktów. Potencjał sztucznej inteligencji w zakresie rozpoznawania emocji został rozszerzony i zbadany poprzez wykorzystanie AI do udzielania zindywidualizowanych porad dotyczących urody. Dokładniej, modele CNN zostały stworzone do analizy danych elektroencefalograficznych (EEG) i pomiaru emocji klientów podczas stosowania kremów kosmetycznych w obiektywny sposób [Kim i in. 2022]. Celem badania było wykorzystanie EEG do pomiaru emocji konsumentów podczas nakładania czterech różnych kremów o różnych konsystencjach. Pasma częstotliwości alfa, beta, niskie gamma i wysokie gamma zostały wykorzystane do analizy danych EEG, które zostały sklasyfikowane jako „lubię (pozytywne)” lub „nie lubię (negatywne)” w oparciu o wynik preferencji badanego. Po zorganizowaniu tych danych w macierz, która łączy informacje przestrzenne i częstotliwościowe, utworzono i oceniono siedem modeli opartych na CNN, które były w stanie przewidzieć satysfakcję użytkownika z dokładnością 75,4%. Metoda ta pomaga pacjentom i kosmetologom podejmować świadome decyzje dotyczące produktów kosmetycznych, oferując wnikliwie informacje na temat preferencji użytkowników. Jest to pierwsze badanie oceniające preferencje dotyczące kremów kosmetycznych przy użyciu metody DL opartej na CNN z wykorzystaniem danych EEG, podkreślające obszar zastosowań sztucznej inteligencji w kosmetologii, któremu nie poświęcono wystarczającej uwagi [Kim i in. 2022].

Tong i in. [2007] jako jedni z pierwszych w 2007 roku zaprezentowali technikę modelowania wirtualnych aplikacji makijażu. W celu odtworzenia efektów makijażu na docelowej twarzy, metoda ta wykorzystywała technikę komputerową zwaną „transferem kosmetycznym”, która mierzyła stosunek obrazów makijażu „przed” i „po”. Efekty te były obliczane piksel po pikselu na podstawie trzech wyrównanych obrazów o tej samej geometrii 2D.

Narzędzie AI o nazwie SkincareMirror zostało stworzone w dziedzinie pielęgnacji skóry przez Shi i in. [2022] i przewiduje wygląd użytkownika i efekt po długotrwałym

stosowaniu produktów do pielęgnacji skóry. Klienci uznają to narzędzie za szczególnie pomocne, ponieważ wykorzystuje ono połączenie etykiet funkcji produktu, zdjęć użytkowników i ocen skuteczności, aby zapewnić wizualną prognozę oczekiwanych wyników. Ponieważ SkincareMirror pozwala użytkownikom na wizualizację potencjalnych efektów długoterminowych, okazało się szczególnie pomocne dla osób o różnym poziomie wiedzy na temat pielęgnacji skóry. Pozwoliło to użytkownikom podejmować szybsze i bardziej świadome decyzje. W porównaniu z konwencjonalnymi metodami dokonywania zakupów, o skuteczności narzędzia świadczy wzrost zadowolenia użytkowników oraz usprawnienie całego procesu zakupowego, zwłaszcza mężczyzn z mniejszą wiedzą na temat pielęgnacji skóry [Shi i in. 2022].

Wykorzystanie AI w leczeniu chorób skóry

W leczeniu trądziku, przewlekłej wieloczynnikowej choroby zapalnej mieszków włosowych, która w znacznym stopniu wpływa na jakość życia pacjentów, niezbędną jest współpraca dermatologów i kosmetologów. Ponad 85% nastolatków ma trądzik, a stan ten często utrzymuje się w wieku dorosłym. Coraz większy odsetek dorosłych charakteryzuje się sporadycznymi zaostrzeniami trądziku [Davis i in. 2012].

Kosmetolodzy często działają jako pierwszy punkt kontaktowy swoich pacjentów, zapewniając opiekę profilaktyczną poprzez zindywidualizowane zabiegi pielęgnacyjne i instruując ich w zakresie odpowiednich praktyk pielęgnacyjnych.

Dermatolodzy i kosmetolodzy współpracują w celu określenia najlepszego sposobu leczenia trądziku, przy czym dermatolodzy zajmują się skutkami ubocznymi stanu zapalnego, a kosmetolodzy pomagają w utrzymaniu czystej skóry, w zależności od nasilenia choroby. Taka współpraca zwiększa zadowolenie pacjentów i skuteczność leczenia w dłuższej perspektywie [Brehar i in. 2020]. Technika identyfikacji i ilościowego określania zmian trądzikowych na twarzy została przedstawiona przez Kim i in. [2023]. Zapewnia ona niezawodny sposób podziału zmian trądzikowych na grupy zapalne oraz niezapalne i została zweryfikowana na zbiorze danych składającym się z 20 699 ręcznie oznaczonych zmian. Dzięki wyraźnemu wyświetlaniu zmian trądzikowych na ekranie, technologia ta okazała się również przydatna w teledermatologii, pomagając dermatologom w zdalnych konsultacjach [Kim i in. 2023].

Poprzez szybką ocenę chorób skóry, takich jak trądzik i sugerowanie opcji leczenia, narzędzia AI przyspieszają proces diagnostyczny i wspierają dermatologów w pracy nad bardziej skomplikowanymi przypadkami. Pomagają również w skutecznych badaniach przesiewowych i diagnostyce. Dzięki AI pacjenci otrzymują terminowe porady i leczenie, zapewniając dokładną ocenę za pomocą obrazów lub filmów, co wspiera również zdalne konsultacje i teleestetykę. Ponadto narzędzia AI umożliwiają w razie potrzeby modyfikację leczenia i wspierają przestrzeganie planów leczenia przez pacjentów.

Kwestie etyczne i bezpieczeństwo danych w aplikacjach AI dla kosmetologii

Unijny Akt o Sztucznej Inteligencji [AI Act, European Commission 2021], który wszedł w życie 1 sierpnia 2024 roku, ustanawia kompleksowe ramy prawne regulujące rozwój, wprowadzanie na rynek oraz użytkowanie systemów AI w Unii Europejskiej. Celem tego aktu jest promowanie godnej zaufania sztucznej inteligencji, zapewnienie wysokiego poziomu ochrony zdrowia, bezpieczeństwa, praw podstawowych, demokracji i praworządności, a także środowiska przed szkodliwymi skutkami systemów AI, przy jednoczesnym wspieraniu innowacji i poprawie funkcjonowania rynku wewnętrznego. Bezpieczeństwo polega na odpowiedzialnym i godnym zaufania zastosowaniu sztucznej inteligencji. Gwarantuje ono, że systemy działają w sposób moralny i bezpieczny, chroniąc użytkowników przed szkodami. Wytyczne są niezbędne do zagwarantowania, że systemy AI stosowane w kosmetologii są przejrzyste i sprawiedliwe, traktując każdą osobę jednakowo, niezależnie od wieku, rodzaju skóry czy pochodzenia etnicznego. Ustawa o sztucznej inteligencji wymaga działań regulacyjnych w celu poprawy bezpieczeństwa i niezawodności zastosowań sztucznej inteligencji w kosmetologii, w tym nadzoru ludzkiego, dokładnych danych szkoleniowych i ścisłego prowadzenia dokumentacji. Te wszechstronne ramy mają na celu ochronę praw konsumentów i zagwarantowanie sprawiedliwego dostępu do towarów i usług związanych z pielęgnacją skóry i kosmetykami dla wszystkich użytkowników (tab. 1) [Kenig i in. 2023].

W kosmetologii opartej na AI prywatność danych ma kluczowe znaczenie, ponieważ sektor kosmetyczny często wykorzystuje wrażliwe dane, w tym analizę twarzy i dane biometryczne. Dane te, które są wykorzystywane do dostarczania spersonalizowanych rekomendacji dotyczących produktów kosmetycznych, zazwyczaj składają się z danych behawioralnych, takich jak wyszukiwane słowa kluczowe, historia przeglądania, rekordy transakcji i konsumowane treści, a także informacje podstawowe, takie jak lokalizacja i dane demograficzne (płeć i wiek), rodzaje skóry i cele oraz alergie [Luz i Olaoye 2024].

Tabela 1. Etyczne uwarunkowania stosowania AI w kosmetologii [Grech i in. 2024]

Kwestie etyczne	Charakterystyka
Uprzedzenia i dyskryminacja	Systemy AI mogą odzwierciedlać lub wzmacniać uprzedzenia związane z pochodzeniem etnicznym, płcią i wiekiem, prowadząc do niesprawiedliwego traktowania i rekomendacji
Przejrzystość i odpowiedzialność	AI często funkcjonuje jako „czarna skrzynka”, co utrudnia zrozumienie jej procesów decyzyjnych i zidentyfikowanie uprzedzeń
Zarządzanie danymi	Odpowiedzialne zarządzanie danymi ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia jakości i bezpieczeństwa w szkoleniu i wdrażaniu AI
Globalne standardy piękna i wrażliwość kulturowa	AI może utrzymywać wąskie standardy piękna, nadając priorytet cechom, takim jak młodość i „zachodnie” cechy oraz ignorowanie różnorodności kulturowej
Wpływ na bezpieczeństwo i zdrowie	Zalecenia oparte na AI muszą uwzględniać bezpieczeństwo i potencjalne zagrożenia dla zdrowia użytkowników
Nadzór regulacyjny i etyczny	Przepisy, takie jak unijna ustawa o sztucznej inteligencji, podkreślają potrzebę sprawiedliwości, przejrzystości i bezpieczeństwa, wymagając ludzkiego nadzoru i dokładnych danych

Wnioski

Modelowanie predykcyjne oparte na AI, w szczególności z wykorzystaniem konwolucyjnych sieci neuronowych (CNN), okazało się przydatne w dermatologii w szacowaniu wymaganej liczby zabiegów laserowych w przypadku schorzeń, takich jak dyschromia i blizny potrądzikowe. Pozwala to pacjentom i lekarzom podejmować świadome decyzje dotyczące planów leczenia i zobowiązań finansowych.

Technologie AI umożliwiają spersonalizowanie zaleceń dotyczących pielęgnacji skóry poprzez analizę obszernych danych konsumenckich, dostosowując w ten sposób oczekiwania klientów do realistycznych wyników. To spersonalizowane podejście rozciąga się na teleestetykę i aplikacje domowe, dzięki temu usługi kosmetyczne stają się bardziej dostępne dla zróżnicowanych grup społecznych, w tym tych, dotychczas mających ograniczony dostęp do specjalistycznej opieki kosmetycznej.

Systemy zarządzania zapasami oparte na AI optymalizują poziomy zapasów, zmniejszając ilość odpadów i zapewniając dostępność produktów. Analityka predykcyjna pomaga firmom dostosowywać się do zmieniających się potrzeb konsumentów, ulepszając rozwój produktów, strategie marketingowe i taktyki cenowe.

Bibliografia

Alam M., 2014. Teaching cosmetic dermatology without sacrificing the proper emphasis on medical dermatology. *JAMA Dermatol.* 150(2), 123–124.

AlOtaibi H.M., AlFurayh N.A., AlNooh B.M., Aljomah N.A., Alqahtani S.M., 2021. Quality of life assessment among patients suffering from different dermatological diseases. *Saudi Med. J.* 42(11), 1195.

Bertsimas D., Kallus N., 2020. From predictive to prescriptive analytics. *Management Science* 66(3), 1025–1044.

Borade S., Kalbande D., 2021. Survey paper based critical reviews for cosmetic skin diseases. W: 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS), 580–585, IEEE, DOI: 10.1109/ICAIS50930.2021.9395803

Brehar R., Mitrea D.A., Vancea F., Marita T., Nedevschi S., Lupsor-Platon M., Badea R.I., 2020. Comparison of deep-learning and conventional machine-learning methods

for the automatic recognition of the hepatocellular carcinoma areas from ultrasound images. *Sensors* 20(11), 3085.

Chaturvedi R., Verma S., 2023. Opportunities and challenges of AI-driven customer service. *Artificial Intelligence in customer service: The next frontier for personalized engagement*, 33–71.

Chibani S., Coudert F.X., 2020. Machine learning approaches for the prediction of materials properties. *APL Materials*, 8(8), <https://doi.org/10.1063/5.0018384>

Chopra K., Calva D., Sosin M., Tadisina K.K., Banda A., De La Cruz C., Chaudhry M.R., Legesse T., Drachenberg C.B., Manson P.N., Christy M.R.MD, 2015. A comprehensive examination of topographic thickness of skin in the human face. *Aesthet. Surg. J.*, 35(8), 1007–1013, <https://doi.org/10.1093/asj/sjv079>

Davis S.A., Narahari S., Feldman S.R., Huang W., Pichardo-Geisinger R.O., McMichael A.J., 2012. Top dermatologic conditions in patients of color: an analysis of nationally representative data. *J. Drugs Dermatol.* 11(4), 466–473.

Elder A., Cappelli M.O., Ring C., Saedi N., 2024. Artificial intelligence in cosmetic dermatology: an update on current trends. *Clin. Dermatol.* 42, 216–220, <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2023.12.015>

Elder A., Ring C., Heitmiller K., Gabriel Z., Saedi N., 2021. The role of artificial intelligence in cosmetic dermatology-current, upcoming, and future trends. *J. Cosmet. Dermatol.* 20(1), 48–52, <https://doi.org/10.1111/jocd.13797>

European Commission, 2021. Regulation of the European Parliament and of the Council. Laying down harmonized rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain union legislative acts. Available online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021PC0206> [dostęp: 20.09.2024].

Gayam S.R., Yellu R.R., Thuniki P., 2021. Optimizing supply chain management through artificial Intelligence: techniques for predictive maintenance, demand forecasting, and inventory optimization. *J. AI-Assist. Sci. Discov.* 1(1), 129–144.

Ghaffar Nia N., Kaplanoglu E., Nasab A., 2023. Evaluation of artificial intelligence techniques in disease diagnosis and prediction. *Discov. Artif. Intell.* 3(1), 5.

- Grech V.S., Kefala V., Rallis E., 2024. Cosmetology in the era of artificial intelligence. *Cosmetics* 11, 135, <https://doi.org/10.3390/cosmetics11040135>
- Greywal T., Dayan S.H., Goldie K., Guillen F.S., 2021. The perception bias of aesthetic providers. *J. Cosmet. Dermatol.* 20(6), 1618–1621, <https://doi.org/10.1111/jocd.13785>
- Hashimoto F., Ohba H., Ote K., Teramoto A., Tsukada H., 2019. Dynamic PET image denoising using deep convolutional neural networks without prior training datasets. *IEEE Access* 7, 96594–96603, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2929418>
- Holcomb J.D., 2021. Helium plasma dermal resurfacing: VISIA CR assessment of facial spots, pores, and wrinkles-preliminary findings. *J. Cosmet. Dermatol.* 20, 1668–1678, <https://doi.org/10.1111/jocd.14106>
- Hu F., Santagostino S.F., Danilenko D.M., Tseng M., Brumm J., Zehnder P., Wu K.C., 2022. Assessment of skin toxicity in an in vitro reconstituted human epidermis model using deep learning. *Am. J. Pathol.* 192(4), 687–700.
- Jiang M., Wang Z., Dou Q., 2022 Harmofl: Harmonizing local and global drifts in federated learning on heterogeneous medical images. W: *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence* (36, 1, 1087–1095), <https://doi.org/10.1609/aaai.v36i1.19959>
- Kang B.Y., Ibrahim S.A., Poon E., Alam M., 2022. Guidelines of care in cosmetic dermatology: from customized treatment for few to evidence-based treatments for many. *J. Cosmet. Dermatol.* 21, 867–868, <https://doi.org/10.1111/jocd.14684>
- Kenig N., Monton Echeverria J., Muntaner Vives A., 2023. Human beauty according to artificial intelligence. *Plast. Reconstr. Surg. Glob. Open*, 11, e5153.
- Kim D.H., Sun S., Cho S.I., Kong H.J., Lee J.W., Lee J.H., Suh D.H., 2023. Automated facial acne lesion detecting and counting algorithm for acne severity evaluation and its utility in assisting dermatologists. *Am. J. Clin. Dermatol.* 24(4), 649–659.
- Kim J., Hwang D.U., Son E.J., Oh S.H., Kim W., Kim Y., Kwon G., 2022. Emotion recognition while applying cosmetic cream using deep learning from EEG data; cross-subject analysis. *PLoS One* 17(11), e0274203.

- Kitamura F.C., 2023. ChatGPT is shaping the future of medical writing but still requires human judgment. *Radiology* 307(2), e230171.
- Kose U., Deperlioglu O., Alzubi J., Patrut B., 2021. *Deep learning for medical decision support systems*, Springer, 189.
- LeCun Y., Bengio Y., Hinton G., 2015. Deep learning. *Nature* 521(7553), 436–444, <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Luz G., Olaoye G., 2024. Data quality and data privacy challenges in AI applications. Available online: https://www.researchgate.net/publication/378904709_Data_quality_and_data_privacy_challenges_in_AI_applications [dostęp: 1.06.2024].
- Mintz Y., Brodie R., 2019. Introduction to artificial intelligence in medicine. *Minim. Invasive Ther. Allied Technol.* 28(2), 73–81, <https://doi.org/10.1080/13645706.2019.1574306>
- Pascucci F., Savelli E., Gistri G., 2023. How digital technologies reshape marketing: evidence from a qualitative investigation. *Ital. J. Mark.* 2023, 27–58, <https://doi.org/10.1007/s43039-023-00063-6>
- Pham T.C., Luong C.M., Hoang V.D., Doucet A., 2021. AI outperformed every dermatologist in dermoscopic melanoma diagnosis, using an optimized deep-CNN architecture with custom mini-batch training, *Sci Rep.* 11(1), 17485, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069394>
- Puri P., Comfere N., Drage L.A., Shamim H., Bezalel S.A., Pittelkow M.R., Murphree D.H., 2022. Deep learning for dermatologists: Part II. Current applications. *J. Am. Acad. Dermatol.* 87(6), 1352–1360, <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2022.07.032>
- Salih O., Duffy K.J., 2023. Optimization convolutional neural network for automatic skin lesion diagnosis using a genetic algorithm. *Appl. Sci.* 13(5), 3248.
- Sekaran K., Chandana P., Krishna N.M., Kadry S., 2020. Deep learning convolutional neural network (CNN) with Gaussian mixture model for predicting pancreatic cancer. *Multimed. Tools Appl.* 79(15), 10233–10247.

Shi C., Jiang Z., Ma X., Luo Q., 2022. A personalized visual aid for selections of appearance building products with long-term effects. W: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, New Orleans, LA, USA, p. 74.

Tong W.S., Tang C.K., Brown M.S., Xu Y.Q., 2007. Example-based cosmetic transfer. In 15th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications (PG'07), IEEE, 211–218.

Vatiwutipong P., Vachmanus S., Noraset T., Tuarob S., 2023. Artificial intelligence in cosmetic dermatology: a systematic literature review. IEEE Access 11, 71407–71425, <https://doi.org/10.1109/access.2023.3295001>

Xiong M., Pfau J., Young A.T., Wei M.L., 2019. Artificial intelligence in teledermatology. Curr. Dermatol. Rep. 8, 85–90.

Abstract

Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML) have significantly advanced the fields of healthcare and cosmetology. This paper explores the applications of AI, particularly focusing on deep learning (DL) and Convolutional Neural Networks (CNN), within the cosmetic industry. CNNs, a subset of DL, are highly effective in image classification, segmentation, and object detection, making them invaluable for skin type identification based on facial images. AI's predictive capabilities enhance cosmetic procedures by forecasting the required number of laser treatments and generating post-operative images to aid patients in making informed decisions. The predictive power of AI also extends to inventory management and customer satisfaction in the cosmetic industry. AI-driven systems optimize stock levels, reduce waste, and provide personalized product recommendations by analyzing vast consumer data sets. Additionally, AI applications in tele-aesthetics and personalized skincare expand access to cosmetic services for underserved populations.

Keywords: ethical responsibility, product personalization, skin problems, artificial intelligence, machine learning

Spis treści

Joanna E. Ślusarczyk, Anna K. Kopacz-Bednarska

Rumianek pospolity (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) – tradycyjna roślina o właściwościach kosmetycznych i leczniczych3

Chamomile (*Chamomilla recutita* (L.) Rausch.) – a traditional plant with cosmetic and medicinal properties

Aleksandra M. Soińska, Anna K. Kopacz-Bednarska, Joanna E. Ślusarczyk

Właściwości prozdrowotne lawendy wąskolistnej (*Lavandula angustifolia* Mill.) wykorzystywane w przemyśle kosmetycznym18

Health-promoting properties of lavender (*Lavandula angustifolia* Mill.) used in the cosmetics industry

Anna K. Kopacz-Bednarska, Joanna E. Ślusarczyk

Babka lancetowata (*Plantago lanceolata* L.) jako źródło naturalnych związków bioaktywnych wykorzystywanych w kosmetologii32

Ribwort plantain (*Plantago lanceolata* L.) as a source of natural bioactive compounds used in cosmetology

Ewelina Chrzanowska, Aleksandra Łuszczek, Zuzanna Łabęcka

Żmijowiec zwyczajny (*Echium vulgare*) oraz żmijowiec czerwony (*E. russicum*) jako surowce o potencjale kosmetycznym45 i farmakologicznym

Echium vulgare and *E. russicum* as raw materials with cosmetic and pharmacological potential

Renata Matraszek-Gawron, Mirosława Chwil

Psoralea corylifolia L. źródłem bakuchiolu, roślinnego retinolu 58

Psoralea corylifolia L. as a source of bakuchiol, a plant retinol

Katarzyna Rubinowska

Surowce roślinne o właściwościach antyoksydacyjnych stosowane w recepturach kosmetycznych71

Plant raw materials with antioxidant properties used in cosmetic formulations

Michał M. Skoczylas, Barbara Misiło, Monika Rajkowska-Myśliwiec, Katarzyna Warchoń, Monika Olchawa-Pajor, Anna Maria Lasek, Anna Irzmańska-Hudziak

Próba syntezy informacji o działaniu przeciwnowotworowym i bezpieczeństwie stosowania surowców roślinnych zawierających amigdalinę82

An attempt to synthesize information on the anticancer activity and safety of using plant materials containing amygdalin

Mirosława Chwil, Renata Matraszek-Gawron, Bożena Denisow

Właściwości i zastosowanie silymaryny w fitoterapii łuszczycy i przebarwień skóry93

Properties and application of silymarin in the phytotherapy of psoriasis and skin discoloration

Barbara Hawrylak-Nowak, Maria Stasińska-Jakubas

Chitozan jako wielofunkcyjny składnik preparatów kosmetycznych oraz kosmeceutycznych106

Chitosan as a multi-purpose ingredient in cosmetic and cosmeceutical preparations

Aleksandra Bartkowska-Bekasiewicz, Tomasz Mieczan

Surowce pochodzenia roślinnego w kosmetykach wegańskich128

Plant-based raw materials in vegan cosmetics

Aleksandra Bartkowska-Bekasiewicz, Tomasz Mieczan

Balneokosmetyki143

Balneocosmetics

Aneta Brodziak, Jolanta Król, Mirosława Chwil

Mleko i serwatka jako naturalne składniki kremów159

Milk and whey as natural ingredients of creams

Anna Kasprzyk

Śluz ślimaka – działanie i zastosowanie w kosmetykach171

Snail slime – its action and application in cosmetics

Adam M. Bownik, Tomasz Mieczan, Magdalena Toporowska, Aleksandra Bartkowska

Zastosowanie hodowli komórkowych w kosmetologii183

Use of cell cultures in cosmetology

Małgorzata Adamczuk

Organizmy modelowe w testach preparatów kosmetycznych195

Model organisms in tests of cosmetic preparations

Magdalena Toporowska, Beata Ferencz

Bezpieczeństwo surowców kosmetycznych i łańcucha dostaw w świetle
zagrożeń cywilizacyjnych207

Safety of cosmetic raw materials and supply chains in the light of civilization
threats

Beata Ferencz, Magdalena Toporowska

Możliwości wykorzystania AI w branży kosmetycznej221

Possibilities of AI use in the cosmetics industry