

*Methods for testing the antioxidant activity
of cosmetic product ingredients*

Metody badania aktywności antyoksydacyjnej składników produktów kosmetycznych



DOI: 10.15199/62.2025.8.3

Methods for measuring antioxidant activity such as DPPH, ABTS, Folin-Ciocalteu and FRAP tests were presented. Using these tests, the ability to neutralize free radicals in potential cosmetic raw materials can be evaluated. Each of these methods has specific advantages and limitations, (pH, temp., specificity). The importance of comprehensive assessment of antioxidant activity for understanding the mechanisms of skin aging and developing effective strategies to counteract these processes was emphasized and precise measurement procedures were included.

Keywords: cosmetics, skin, antioxidant, DPPH, ABTS, Folin-Ciocalteu, FRAP

Przedstawiono metody pomiaru aktywności antyoksydacyjnej, takie jak testy DPPH, ABTS, Folina i Ciocalteu oraz FRAP, które oceniają zdolność neutralizacji wolnych rodników dla potencjalnych surowców kosmetycznych. Każda z tych metod ma swoje specyficzne zalety oraz ograniczenia, w tym różnice w pH, temperaturze i specyficzności. W pracy podkreślono znaczenie kompleksowej oceny aktywności antyoksydacyjnej dla zrozumienia mechanizmów starzenia się skóry oraz rozwoju skutecznych strategii przeciwdziałających tym procesom, a także zawarto dokładne procedury pomiarowe.

Słowa kluczowe: kosmetyki, skóra, antyoksydant, DPPH, ABTS, metoda Folina i Ciocalteu, FRAP

Skóra jest największym organem ludzkiego ciała pod względem masy i powierzchni. Pełni funkcję bariery ochronnej między wnętrzem organizmu a środowiskiem zewnętrznym. Skóra współdziała z układami krwionośnym, nerwowym i odpornościowym, wykazując zdolność odbierania bodźców oraz uczestnicząc w regulacji wielu procesów fizjologicznych, a także wykrywa i chroni przed promieniowaniem ultrafioletowym i wspomaga funkcje endokrynologiczne¹⁾. Funkcje te stanowią jedynie część roli fizjologicznej skóry.

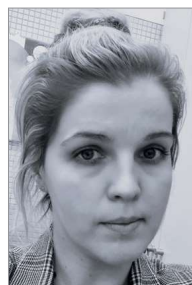
Teorii na temat starzenia się skóry jest wiele, można przyjąć kompromis, że następuje ono zarówno z powodu czynników wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Starzenie się wewnętrzne następuje naturalnie wraz z wiekiem, na skutek

zahamowania procesów odnowy komórek i zmian w produkcji hormonów²⁾. Zewnętrzne starzenie natomiast następuje pod wpływem czynników środowiskowych, takich jak promieniowanie UV i toksyny chemiczne³⁾. Promieniowanie UV generuje powstawanie reaktywnych form tlenu (ROS), a w konsekwencji stres oksydacyjny, zatem aby poradzić sobie ze starzeniem się skóry, badania skupiają się głównie na zmniejszaniu stresu oksydacyjnego i degradacji macierzy pozakomórkowej poprzez zastosowanie przeciwutleniaczy, środków przeciwkolagenazowych i innych⁴⁻⁷⁾.

Przeciwutleniacze to drobiny, które mają za zadanie neutralizować wolne rodniki wywołujące stres oksydacyjny poprzez przyjmowanie lub oddawanie elektronów w celu wyeliminowania niesparowanego elektronu rodnika⁸⁾.



Mgr Aleksandra SKOCZEŃ (ORCID: 0000-0002-0625-1906) w roku 2019 ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu na kierunku chemia o specjalności chemia kosmetyczna. Obecnie pracuje w Zakładzie Chemii Stosowanej na tym samym wydziale. Specjalność – badanie składników aktywnych kosmetyków, projektowanie wraz z analizą fizykochemiczną i użytkową kosmetyków, synteza nanocząstek lipidowych.



Dr Marta MARZEC (ORCID: 0000-0003-1482-8274) w roku 2015 uzyskała stopień magistra, a w 2019 r. stopień doktora na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Jest adiunktem w Zakładzie Chemii Stosowanej tej samej uczelni. Specjalność – preparatyka i badania fizykochemiczne produktów kosmetycznych z zakresu kosmetyki białej, nowoczesne substancje czynne w produktach kosmetycznych, badania aplikacyjno-aparaturowe kosmetyków, synteza nanocząstek lipidowych, z naciskiem na ich zastosowanie w chemii kosmetycznej.

*** Adres do korespondencji:**

Zakład Chemii Stosowanej, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań, e-mail: skoczen@amu.edu.pl; nowakiza@amu.edu.pl

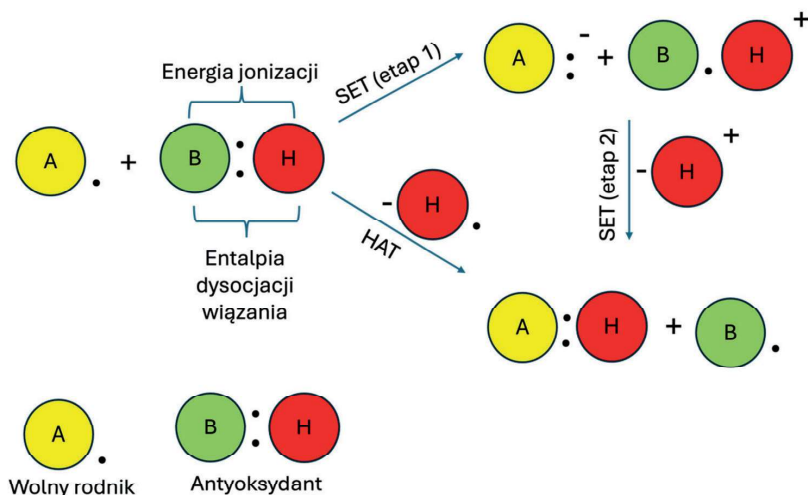


Fig. 1. Comparison of the mechanisms of the SET and HAT methods (adapted from¹⁰⁾ based on CC-BY)

Rys. 1. Porównanie mechanizmów metod SET i HAT (zaadaptowane z¹⁰⁾ na podstawie CC BY)

Opracowano wiele metod służących do pomiaru zdolności przeciwutleniających. Do najczęściej stosowanych należą metody z wykorzystaniem testów chemicznych⁹⁾, wg dwóch mechanizmów bazujących na: (i) reakcjach przeniesienia atomu wodoru HAT (*hydrogen atom transfer*) i (ii) reakcjach przeniesienia pojedynczego elektronu SET (*single electron transfer*), co zostało przedstawione na rys. 1. W mechanizmie SET energia jonizacji przeciwutleniacza jest najważniejszym czynnikiem energetycznym w ocenie jego działania, natomiast w mechanizmie HAT bardziej istotna jest entalpia dysocjacji wiązania między przeciwutleniaczem a atomem wodoru. Przeciwutleniacze niezależnie od zaangażowanego mechanizmu mogą wychwytywać rodniki, chociaż kinetyka i potencjał reakcji ubocznych są różne¹⁰⁾.

Oprócz metod z wykorzystaniem mechanizmów HAT i SET do chemicznych metod oznaczania właściwości przeciwutleniających zaliczane są również metody wykorzystujące inne mechanizmy, takie jak metody chemiluminescencyjne lub elektrochemiczne¹¹⁾.

Aktywności przeciwutleniaczy są wyrażane albo jako hamowanie utleniania próbki za pośrednictwem ROS, albo jako ekwiwalenty wybranego referencyjnego

przeciwutleniacza, takiego jak troloks, kwas askorbinowy lub inny związek. Metody chemiczne do pomiaru aktywności przeciwutleniającej są proste, szybkie i zazwyczaj zautomatyzowane, dlatego są szeroko stosowane we wstępnym badaniu przesiewowym i ocenie nowych związków antyoksydacyjnych lub ekstraktów produktów naturalnych/produktów ubocznych. Ich wadą jest wykonywanie pomiaru w niefizjologicznym zakresie pH i temperatury, ponadto żaden z nich nie uwzględnia wpływu biodostępności ani przemian metabolicznych badanego przeciwutleniacza w żywej komórce. W związku z tymi ograniczeniami można zastosować kompleksowe badanie uwzględniające metody chemiczne w połączeniu z metodami w układach komórkowych *in vivo*.

Testy oparte na SET, znane również jako testy transferu elektronu (ET), oceniają zdolność przeciwutleniaczy do przenoszenia elektronów w celu redukcji jonów metali, grup karbonylowych oraz wolnych rodników. Kluczowym elementem metody SET jest skład mieszanki reakcyjnej, który obejmuje przeciwutleniacz oraz utleniacz. Przeniesienie elektronu z przeciwutleniacza na redukujący związek prowadzi do zmiany stopnia utlenienia i w efekcie zmiany barwy mieszaniny. Stabilizacja koloru sygnalizuje osiągnięcie końca reakcji. Stopień zmiany koloru jest skorelowany z całkowitą zdolnością przeciwutleniającą, a zmiana absorbancji w funkcji stężenia przeciwutleniacza w badanej próbce ma charakter liniowy. Do metod wykorzystujących mechanizm SET zalicza się test Folina i Ciocâlțu, testy redukcji mocy antyoksydacyjnej żelaza (FRAP) oraz metody z wykorzystaniem takich rodników, jak DPPH (rodnik 2,2-difenylo-1-pikrylohydrazylu) i ABTS (2'-azynobis(3-etylobenzenotiazolino-6-sulfonian). Celem pracy było przedstawienie opisów i procedur badania aktywności przeciwutleniającej tymi metodami.

Metoda ABTS

Test z wykorzystaniem kationorodnika ABTS^{•+} został opracowany po raz pierwszy przez Millera i jego zespół w 1993 r. i od tego czasu został znacząco zmodyfikowany¹²⁾. Metoda ta mierzy zdolność przeciwutleniaczy do neutralizacji stabilnego kationorodnika ABTS^{•+} (rys. 2). Podstawą testu ABTS jest interakcja między przeciwutleniaczem a wstępnie wytworzonym kationorodnikiem ABTS^{•+} w temperaturze pokojowej¹³⁾. Kationorodnik ABTS^{•+} najczęściej jest generowany w reakcji chemicznej za pomocą nadsiarczuanu potasu, który utlenia rodnik. Choć utlenienie ABTS zachodzi natychmiast, to największą stabilność i maksymalną wartość absorbancji związek osiąga dopiero po upływie 6 h. Rodniki powstające w tej reakcji mają niebieskozielone zabarwienie i charakteryzują się maksimum absorpcji przy różnych długościach fali: 427, 645, 734 i 815 nm. Dodanie przeciwutleniaczy do wstępnie utworzonego kationorodnika



Prof. dr hab. Izabela NOWAK (ORCID: 0000-0002-1113-9011) w roku 1997 uzyskała stopień doktora, a w 2008 r. stopień doktora habilitowanego na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Była stypendystką Fundacji Fulbrighta oraz Kościuszkowskiej. W 2014 r. otrzymała nominację profesorską. Od 2009 r. jest kierownikiem Zakładu Chemii Stosowanej na Wydziale Chemii UAM. W latach 2019–2024 pełniła funkcję prezesa ZG PTChem. Specjalność – synteza i modyfikacja nowych uporządkowanych mezoporowatych materiałów, synteza wysokowartościowych i masowych chemikaliów z użyciem heterogenicznych katalizatorów, w tym z użyciem biomasy, nowatorskie metody analityczne w zakresie chemii kosmetycznej, farmaceutycznej i stosowanej, nowoczesne strategie preparatyki i badania kosmetyków oraz kosmeceutyków.

* Adres do korespondencji:

Zakład Chemii Stosowanej, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań, e-mail: skoczen@amu.edu.pl; nowakiza@amu.edu.pl

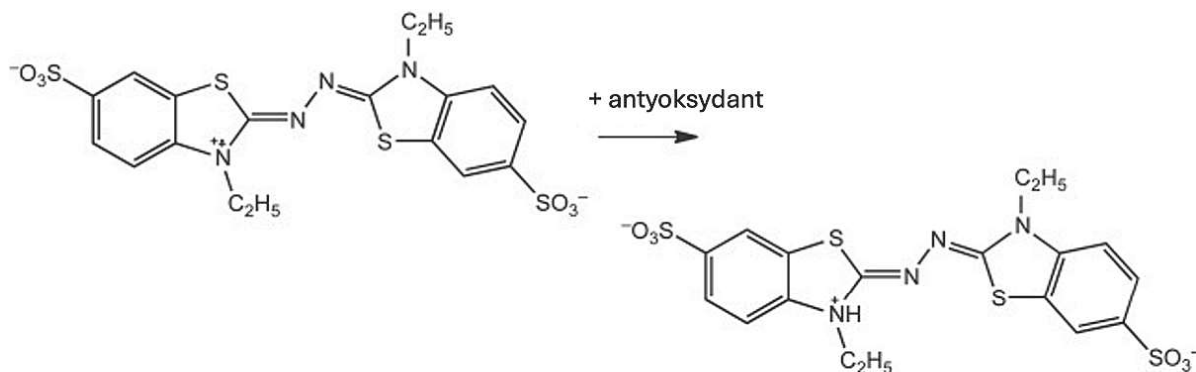


Fig. 2. ABTS structure in the form of cation radical and reduced structure

Rys. 2. Struktura ABTS w postaci kationorodnika i struktury zredukowanej

ABTS^{•+} zmniejsza jego stężenie, a stopień odbarwienia, wyrażony jako zahamowanie występowania kationorodnika ABTS^{•+}, jest określany w odniesieniu do reaktywności troloksu jako wzorca w tych samych warunkach. Metoda ta jest stosowana do badania przeciwutleniaczy rozpuszczalnych w wodzie i w lipidach, zarówno czystych związków, jak i ekstraktów roślinnych¹⁴.

Procedura testu polega na przygotowaniu roztworu ABTS o stężeniu 7 mM poprzez rozpuszczenie ABTS w wodzie destylowanej, do którego następnie należy dodać 2,45 mM K₂S₂O₈ w stosunku objętościowym 1:1 i pozostawić na 12–16 h w ciemnym miejscu w temperaturze pokojowej, aby umożliwić jego aktywację. Po zmianie barwy należy rozcieńczyć aktywowany roztwór ABTS wodą destylowaną do uzyskania absorbancji ok. 0,700 (±0,020) przy długości fali 734 nm. Badaną próbkę (10 µL) trzeba mieszać z gotowym roztworem ABTS (990 µL), a po wymieszaniu odczekać 6 min, aby następnie zmierzyć absorbancję próbki przy długości fali 734 nm za pomocą spektrofotometru.

Metoda DPPH

Metoda DPPH to jedna z najprostszych i jednocześnie najbardziej efektywnych metod oceny właściwości przeciwutleniających różnych produktów. Została opracowana w 1958 r.¹⁵ i opiera się na ocenie aktywności przeciwutleniającej za pomocą stabilnego rodnika DPPH[•] (rys. 3). DPPH[•] to wolny rodnik, który wyróżnia się dużą stabil-

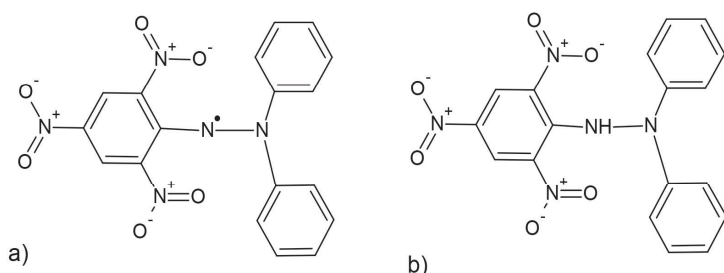


Fig. 3. Structure of DPPH as a) free radical, b) reduced structure

Rys. 3. Struktura DPPH w postaci a) wolnego rodnika, b) struktury zredukowanej

nością. W jego strukturze na jednym z atomów azotu, tworzącym mostek azowy, na powłoce walencyjnej znajduje się niesparowany elektron, co zapobiega tworzeniu dimerów¹⁶.

Rodnik DPPH[•] jest trwały i nie wymaga generowania¹⁷. W roztworze metanolowym ma ciemnofioletowe zabarwienie z maksymalną absorpcją światła przy 517 nm. Reakcję DPPH[•] z analizowaną substancją można zaobserwować poprzez stopniowe zanikanie purpurowej barwy. Jest to wynik neutralizacji rodnika DPPH przez związek o właściwościach przeciwutleniających, co prowadzi do powstania zredukowanej formy rodnika. Spadek absorbancji jest bezpośrednio proporcjonalny do ilości utlenionej formy DPPH, jaka pozostaje w roztworze¹⁸. Wyniki odnoszone są do reaktywności wzorca (troloksu), a aktywność przeciwutleniająca próbki jest wyrażana w mikromolach równoważników troloksu¹⁷.

Jest to szybka, prosta, niedroga i powszechnie stosowana metoda do pomiaru zdolności związków do działania jako zmiatacze wolnych rodników lub donory wodoru. Może być stosowana do ilościowego oznaczania antyoksydantów w złożonych systemach biologicznych, zarówno w próbkach stałych, jak i ciekłych¹⁹. Procedura pomiaru może być przeprowadzona w rozpuszczalnikach organicznych polarnych i niepolarnych i można ją stosować do badania zarówno przeciwutleniaczy hydrofilowych, jak i lipofilowych²⁰.

Procedura pomiaru polega na przygotowaniu roztworu DPPH w metanolu o stężeniu 0,1 mM, a następnie zmieszaniu 1 mL przygotowanego roztworu DPPH z 3 mL próbki. Po 30 min inkubacji mieszaniny w ciemności w temperaturze pokojowej należy wykonać pomiar absorbancji przy długości fali 517 nm za pomocą spektrofotometru²⁰.

Metoda Folina i Ciocâlteu

Metoda Folina i Ciocâlteu jest stosowana do określenia całkowitej zawartości fenoli TPC (*total phenolic content*), co może być wskaźnikiem aktywności przeciwutleniają-

cej. Pierwotnie metoda została opracowana w 1927 r. do oznaczenia tyrozyny²²). Odczynnik stosowany do reakcji składa się z mieszanki molibdenianu sodu (Na_2MoO_4), wolframinianu sodu (Na_2WO_4), wody bromowej, stężonego kwasu solnego oraz kwasu fosforowego. Chemiczny skład odczynnika Folina i Ciocâlțeu (FC) nie jest precyzyjnie określony, ale przypuszcza się, że może zawierać kompleks kwasu fosfomolibdenowego/fosfowolframowego. Procedura testu Folina i Ciocâlțeu polega na redukcji odczynnika FC związkami fenolowymi w środowisku alkalicznym w temperaturze pokojowej, co prowadzi do powstania niebieskiego chromoforu o maksymalnej absorpcji przy 765 nm. Kwas galusowy jest powszechnie stosowanym wzorcem odniesienia, a wyniki TPC zazwyczaj są podawane jako ekwiwalent kwasu galusowego.

Zaletą tej metody jest jej prostota i przydatność do standaryzacji materiałów biologicznych. Wadami są jej ograniczona specyficzność, ze względu na reakcję z innymi substancjami, takimi jak aldehydy, mocznik, cukry i aminy aromatyczne. Test jest także wrażliwy na pH, temperaturę i czas reakcji, więc ważne jest odpowiednie dostosowanie warunków, aby uzyskać spójne i wiarygodne wyniki. Jest szeroko stosowana w badaniach klinicznych i żywieniowych do pomiaru całkowitej zawartości polifenoli w żywności pochodzenia roślinnego i próbkach biologicznych²³).

Procedura pomiarowa polega na użyciu 500 μL gotowego handlowego odczynnika FC, który należy zmieszać z 100 μL próbki oraz po 5 min z 400 μL 7,5-proc. roztworem Na_2CO_3 . Całą mieszaninę należy rozcieńczyć 2 mL wody destylowanej i pozwolić na inkubację mieszaniny przez ok. 30 min w ciemności w temperaturze pokojowej. Po tym czasie należy zmierzyć absorbancję mieszaniny przy długości fali 765 nm za pomocą spektrofotometru.

Metoda FRAP

Test FRAP (*ferric reducing antioxidant power*) jest metodą opartą na redukcji kompleksu jonów żelaza Fe^{3+} -ligand do intensywnie niebieskiego kompleksu Fe^{2+} -ligand przez przeciwutleniacze w środowisku kwaśnym²⁴). Polega na pomiarze redukcji związku TPTZ (2,4,6-tri(2-pirydylo)-s-triazyna) pod wpływem działania przeciwutleniacza. Aktywność przeciwutleniająca jest określana jako wzrost absorbancji przy długości fali 593–595 nm.

W przeciwieństwie do innych metod opartych na transferze elektronów (SET), test FRAP jest przeprowadzany w kwaśnym środowisku (pH ~3,6), aby utrzymać rozpuszczalność żelaza i zwiększyć transfer elektronów, zwiększając w ten sposób potencjał redoks i zmieniając dominujący mechanizm reakcji²⁵).

Początkowo test FRAP był stosowany do pomiaru mocy redukującej osocza, jednak jego zastosowanie rozszerzono na ocenę aktywności przeciwutleniającej w innych płynach biologicznych, żywności i ekstraktach roślinnych. Metoda FRAP jest również stosowana do analizy związków

o potencjale redoks niższym niż 0,7 V względem standardowej wodorowej elektrody (SWE), co umożliwia oznaczanie zdolności przeciwutleniających komórek i tkanek⁹).

Wyniki tej metody są określane poprzez porównanie zmian absorbancji analizowanej próbki z wartością roztworu wzorcowego Fe(II) . Uzyskana wartość próbki jest wprost proporcjonalna do stężenia przeciwutleniacza, można je wyrazić jako mikromolowe ekwiwalenty Fe^{2+} lub w odniesieniu do standardu przeciwutleniającego (np. troloksu). Przyjęta zasada mówi, że jednostka FRAP odpowiada zdolności przeciwutleniacza do zredukowania 1 mola jonów Fe(III) do jonów Fe(II) ⁹).

Procedura pomiarowa polega na przygotowaniu roztworu FRAP poprzez zmieszanie w stosunku objętościowym 10:1:1 300 mM buforu octanowego o pH 3,6, 10 mM TPTZ w 40 mM HCl oraz 20 mM $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Należy 100 μL próbki zmieszać z 3 mL odczynnika FRAP i inkubować mieszaninę w temp. 37°C przez 30 min, a następnie zmierzyć absorbancję przy długości fali 593 nm za pomocą spektrofotometru²⁶).

Podsumowanie

Skóra jest największym organem człowieka, pełniącym funkcje ochronne oraz uczestniczącym w wielu procesach fizjologicznych. Jej starzenie się jest wynikiem złożonej interakcji czynników wewnętrznych oraz zewnętrznych, takich jak promieniowanie UV i toksyny środowiskowe, które prowadzą do stresu oksydacyjnego i degradacji macierzy pozakomórkowej. W odpowiedzi na te wyzwania prowadzone badania koncentrują się na zastosowaniu przeciwutleniaczy, które neutralizują wolne rodniki i wspierają procesy regeneracyjne.

W pracy omówiono metody pomiaru zdolności przeciwutleniających, w tym testy DPPH, ABTS, Folina i Ciocâlțeu oraz FRAP, które oceniają właściwości neutralizacyjne różnych substancji w potencjalnych surowcach kosmetycznych. Każda z tych metod charakteryzuje się swoimi zaletami i ograniczeniami, związanymi z pH, temperaturą i specyficznością. Wskazano na znaczenie kompleksowej oceny aktywności przeciwutleniającej dla lepszego zrozumienia mechanizmów starzenia skóry oraz dla rozwoju skutecznych strategii przeciwdziałających tym procesom.

Ponadto przedstawiono szczegółowe procedury pomiarowe dla każdej z metod, podkreślając ich zastosowanie w badaniach przesiewowych i ocenie nowych związków przeciwutleniających, jak również potrzebę dalszych badań w kierunku zwiększenia biodostępności i skuteczności tych związków w terapii przeciwstarzeniowej. Wyniki pracy mają istotne znaczenie dla przemysłu kosmetycznego, oferując ramy do przyszłych badań i rozwoju innowacyjnych produktów poprawiających kondycję skóry.

Otrzymano: 08-07-2025

Zrecenzowano: 10-07-2025

Zaakceptowano: 15-07-2025

Opublikowano: 11-08-2025

LITERATURA

- [1] D.J. Tobin, *J. Tissue Viability* 2017, **26**, nr 1, 37, <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2016.03.002>.
- [2] A.M. Cruz, M.C. Gonçalves, M.S. Marques, F. Veiga, A.C. Paiva-Santos, P.C. Pires, *Cosmetics* 2023, **10**, nr 2, 66, <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020066>.
- [3] B.N. Ames, M.K. Shigenaga, T.M. Hagen, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 1993, **90**, nr 17, 7915, <https://doi.org/10.1073/pnas.90.17.7915>.
- [4] M.A. Farage, K.W. Miller, P. Elsner, H.I. Maibach, *Adv. Wound Care* 2013, **2**, nr 1, 5, <https://doi.org/10.1089/wound.2011.0356>.
- [5] R. Ganceviciene, A.I. Liakou, A. Theodoridis, E. Makrantonaki, C.C. Zouboulis, *Dermato-Endocrinology* 2012, **4**, nr 3, 308, <https://doi.org/10.4161/derm.22804>.
- [6] E. Russell-Goldman, G.F. Murphy, *Am. J. Pathol.* 2020, **190**, nr 7, 1356, <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2020.03.007>.
- [7] Q.Y.A. Wong, F.T. Chew, *Sci. Rep.* 2021, **11**, nr 1, 22075, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01573-z>.
- [8] J. Lü, P.H. Lin, Q. Yao, C. Chen, *J. Cell. Mol. Med.* 2010, **14**, nr 4, 840, <https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2009.00897.x>.
- [9] F. Shahidi, Y. Zhong, *J. Funct. Foods* 2015, **18**, 757, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.01.047>.
- [10] N. Liang, D. Kitts, *Molecules* 2014, **19**, nr 11, 19180, <https://doi.org/10.3390/molecules191119180>.
- [11] I. Koss-Mikołajczyk, M. Baranowska, J. Namieśnik, A. Bartoszek, *Postepy Hig. Med. Dosw.* 2017, **71**, nr 1, 602, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.3841>.
- [12] N.J. Miller, C. Rice-Evans, M.J. Davies, V. Gopinathan, A. Milner, *Clinical Sci.* 1993, **84**, nr 4, 407, <https://doi.org/10.1042/cs0840407>.
- [13] I.R. Ilyasov, V.L. Beloborodov, I.A. Selivanova, R.P. Terekhov, *IJMS* 2020, **21**, nr 3, 1131, <https://doi.org/10.3390/ijms21031131>.
- [14] N. Francenia Santos-Sánchez, R. Salas-Coronado, C. Villanueva-Cañongo, B. Hernández-Carlos, [w:] *Antioxidants* (red. E. Shalaby), IntechOpen, 2019, <https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>.
- [15] M.S. Blois, *Nature* 1958, **181**, 1199, <https://doi.org/10.1038/1811199a0>.
- [16] P. Molyneux, *Songklanakar J. Sci. Technol.* 2004, **26**, nr 2, 211.
- [17] S.B. Kedare, R.P. Singh, *J. Food Sci. Technol.* 2011, **48**, nr 4, 412, <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0251-1>.
- [18] I. Zych, A. Krzepińko, *Chem. Didact. Ecol. Metrol.* 2010, **15**, nr 1, 51.
- [19] A. Prakash, *Med. Lab. Anal. Prog.* 2001, **19**, nr 2, 1.
- [20] R.L. Prior, X. Wu, K. Schaich, *J. Agric. Food Chem.* 2005, **53**, nr 10, 4290, <https://doi.org/10.1021/jf0502698>.
- [21] I. Gülçin, *Pharmacol. Res.* 2004, **49**, nr 1, 59, <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2003.07.012>.
- [22] O. Folin, V. Ciocâlțu, *J. Biol. Chem.* 1927, **73**, nr 2, 627, [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)84277-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)84277-6).
- [23] M.S. Stankovic, N. Niciforovic, M. Topuzovic, S. Solujic, *Biotechnol. Biotechnol. Equip.* 2011, **25**, nr 1, 2222, <https://doi.org/10.5504/BBEQ.2011.0020>.
- [24] I.F.F. Benzie, J.J. Strain, *Anal. Biochem.* 1996, **239**, nr 1, 70, <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
- [25] A.E. Hagerman, K.M. Riedl, G.A. Jones, K.N. Sovik, N.T. Ritchard, P.W. Hartzfeld, T.L. Riechel, *J. Agric. Food Chem.* 1998, **46**, nr 5, 1887, <https://doi.org/10.1021/jf970975b>.
- [26] N. Pellegrini, B. Colombi, D. Del Rio, S. Salvatore, M. Bianchi, F. Brighenti, M. Serafini, *J. Nutrition* 2003, **133**, nr 9, 2812, <https://doi.org/10.1093/jn/133.9.2812>.



**Stowarzyszenie Inżynierów i Techników
Przemysłu Chemicznego**
Oddział Gliwice zaprasza



XXXII Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna

ANTYKOROZJA
SYSTEMY - MATERIAŁY - POWŁOKI

32. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna

ANTYKOROZJA

Systemy - Materiały - Powłoki

18–20 marca 2026 r. Ustroń – hotel JAWOR

- Kierunki badań antykorozyjnych • Inżynieria materiałowa
- Powłoki ochronne • Elektrochemiczna ochrona przed korozją
- Korozja mikrobiologiczna • Problemy korozji w budownictwie
- Antykorozyjne zabezpieczanie maszyn, urządzeń i środków transportu
- Działania na rzecz zwiększania świadomości korozyjnej – w Polsce i w świecie

Informacje i kontakt:

tel. 664421351 i 664421349

www.gliwice.sitpchem.org.pl