

Badania i Rozwój Młodych Naukowców w Polsce

Żywność i żywienie



www.mlodzinaukowcy.com

Poznań 2020

Redakcja naukowa

dr Jędrzej Nyćkowiak

dr hab. Jacek Leśny, prof. UPWR

Wydawca

Młodzi Naukowcy

www.mlodzinaukowcy.com

wydawnictwo@mlodzinaukowcy.com

ISBN (całość 978-83-66392-59-5)

ISBN (wydanie online 978-83-66743-10-6)

ISBN (wydanie drukowane 978-83-66743-11-3)

Ilość znaków w książce: 500 tys.

Ilość arkuszy wydawniczych: 12,5

Data wydania: wrzesień 2020

Niniejsza pozycja jest monografią naukową. Jej rozdziały zostały wydrukowane zgodnie z przesłanymi tekstami po ich zaakceptowaniu przez recenzentów. Odpowiedzialność za zgodne z prawem wykorzystanie użytych materiałów ponoszą autorzy poszczególnych rozdziałów.

Spis treści

1. Innowacje na rynku żywności - Napoje sproszkowane na bazie warzyw i owoców jako spożywcze produkty funkcjonalne	7
<i>Bochnak-Niedźwiecka Justyna, Banach Katarzyna, Jedut Paulina, Łupina Katarzyna, Świeca Michał</i>	
2. Postępowanie żywieniowe w chorobie Leśniowskiego-Crohna – opis przypadku i projekt diety	12
<i>Dyląg Agnieszka, Krawczyk Katarzyna, Sularz Olga, Doniec Joanna, Skoczylas Joanna, Koronowicz Aneta</i>	
3. Wpływ diety ketogenicznej na leczenie insulinooporności – opis przypadku	21
<i>Dyląg Agnieszka, Wittenbeck Kinga, Sularz Olga, Doniec Joanna, Skoczylas Joanna, Koronowicz Aneta</i>	
4. Farmakologiczny potencjał składników bioaktywnych topinamburu	29
<i>Ilona Gęsikowska, Ewa Kurzeja, Damian Pielorz, Kacper Grzywnowicz, Jacek Drobnik, Grażyna Janikowska</i>	
5. Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne skorzonery (<i>Scorzonera</i> L.)	35
<i>Ilona Gęsikowska, Ewa Kurzeja, Barbara Strzałka-Mrozik, Grażyna Janikowska</i>	
6. Zmiany liczebności drożdży w kefirach rynkowych w czasie przechowywania	42
<i>Robert Gosik</i>	
7. Charakterystyka enzymu peroksydazy tyroidowej (TPO), wpływ stresu oksydacyjnego na jego funkcjonowanie oraz zastosowanie metody izobolograficznej do obrazowania interakcji pomiędzy składnikami aktywnymi żywności na jego obniżenie	49
<i>Habza-Kowalska Ewa, Szafrąńska Jagoda</i>	
8. Właściwości antyoksydacyjne wybranych surowców roślinnych w zależności od temperatury przechowywania oraz zastosowania obróbki wysokotemperaturowej	54
<i>Habza-Kowalska Ewa, Dziki Laura</i>	
9. Diety wegetariańskie w prewencji chorób cywilizacyjnych	61
<i>Jedut Paulina, Banach Katarzyna, Bochnak- Niedźwiecka Justyna</i>	
10. Charakterystyka wybranych składników wspomagających proces odchudzania	67
<i>Kapusta-Duch Joanna</i>	
11. Właściwości przeciwutleniające wybranych składników występujących w żywności	73
<i>Kapusta-Duch Joanna</i>	
12. Wpływ askorbinianu sodu na właściwości mechaniczne i optyczne filmów żelatynowych	81
<i>Katarzyna Łupina, Dariusz Kowalczyk</i>	
13. Porównanie zawartości likopenu i właściwości przeciwrodnikowych koncentratów i przecierów pomidorowych	87
<i>Katarzyna Łupina</i>	
14. Wybrane mikroelementy oraz witaminy wspierające prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego człowieka	94
<i>Sebastian Mertowski, Krzysztof Gosik, Izabela Morawska</i>	
15. Charakterystyka właściwości lodów uwarunkowana ich składnikami	100
<i>Sybilla Nazarewicz, Katarzyna Kozłowicz</i>	

16. Charakterystyka rodzaju lodów z uwzględnieniem aspektów żywieniowych i technologicznych	106
<i>Sybilla Nazarewicz, Katarzyna Kozłowicz</i>	
17. Naturalne substancje przeciwdrobnoustrojowe pochodzenia mikrobiologicznego i ich wykorzystanie w technologii żywności	112
<i>Iwona Niedźwiedź, Magdalena Polak - Berecka</i>	
18. Metale ciężkie w ziołach	118
<i>Karolina Nowosad</i>	
19. Charakterystyka i właściwości prozdrowotne roślin strączkowych	124
<i>Karolina Nowosad</i>	
20. Grzyby jako potencjalne źródło naturalnych barwników spożywczych	130
<i>Piątek Wiktoria, Sulej Justyna</i>	
21. „Drugie życie” odpadów kawowych	137
<i>Zięzio Magdalena</i>	

Przedmowa

Szanowni Państwo, wydawnictwo „Młodzi Naukowcy” oddaje do rąk czytelnika kolekcję trzynastu monografii naukowych dotyczących szerokiego spektrum nauk. Znajdują się tutaj pozycje dotyczące nauk przyrodniczych, nauk medycznych i nauk o zdrowiu, szeroko pojętych nauk humanistycznych i społecznych oraz nauk technicznych i inżynierskich.

W prezentowanych monografiach poruszany jest bardzo szeroki przekrój zagadnień, jednak każda z osobna składa się z kilkunastu rozdziałów, spójnych tematycznie, dających jednocześnie bardzo dobry przegląd tematyki naukowej jaką zajmują się studenci studiów doktoranckich lub ich najmłodsi absolwenci, którzy uzyskali już stopień doktora.

Czytelnikom życzymy wielu przemyśleń związanych z tematyką zaprezentowanych prac. Uważamy, że doktoranci i młodzi badacze z pasją i bardzo profesjonalnie podchodzą do swojej pracy, a doświadczenie jakie nabierają publikując prace w monografiach wydawnictwa „Młodzi Naukowcy”, pozwoli im udoskonalać swój warsztat pracy. Dzięki temu, z pewnością wielu autorów niniejszych prac, z czasem zacznie publikować prace naukowe w prestiżowych czasopismach. Przyczyni się to zarówno do rozwoju nauki, jak i każdego autora, budując jego potencjał naukowy i osobisty.

Redakcja

1. Innowacje na rynku żywności - Napoje sproszkowane na bazie warzyw i owoców jako spożywcze produkty funkcjonalne

Innovations on the food market - Powdered drinks based on vegetables and fruits as functional food products

Bochnak-Niedźwiecka Justyna⁽¹⁾, Banach Katarzyna⁽²⁾, Jedut Paulina⁽²⁾, Łupina Katarzyna⁽¹⁾, Świeca Michał⁽¹⁾

⁽¹⁾Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

⁽²⁾ Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Żywienia Człowieka, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr. hab. Michał Świeca, profesor uczelni

Justyna Bochnak-Niedźwiecka: just.bochnak@gmail.com

Streszczenie

Zmieniające się potrzeby konsumentów generują potrzebę tworzenia nowych, funkcjonalnych produktów spożywczych z wykorzystaniem innowacyjnych technologii przetwarzania i utrwalania żywności. Składniki pochodzenia roślinnego jako główne źródło związków bioaktywnych są fundamentem rynku żywności, ze względu na szereg korzyści zdrowotnych płynących z ich spożycia. Napoje funkcjonalne zajmują istotne miejsce w diecie współczesnych konsumentów, ponieważ nie tylko gaszą pragnienie, ale z uwagi na unikalny skład posiadają również wartość dodaną, np. mogą stanowić zamiennik dobrze zbilansowanego posiłku.

Obecnie wzrasta różnorodność sproszkowanych produktów dostępnych w handlu detalicznym. Niektóre z nich mogą być wykorzystywane jako półprodukty w wyrobach cukierniczych, bądź jako dodatki do zup, sosów, lodów, mieszanek dla niemowląt, a także jako dodatek do innych napojów lub smoothie. Napoje w proszku wpisują się w ideologię żywności wygodnej („easy-to-prepare” oraz „easy-to-eat”) głównie ze względu na niewielki nakład pracy w celu przygotowania ich przed spożyciem. Ponadto, produkty tego typu szybko spotkały się z akceptacją ze strony konsumentów.

1. Wprowadzenie

Z roku na rok wzrasta ilość doniesień dotyczących wpływu diety oraz jej zróżnicowania na zdrowie oraz ogólne, dobre samopoczucie człowieka. Gwałtowny wzrost zainteresowania konsumentów zbilansowanym odżywianiem jest następstwem zmieniających się trendów gospodarczych (Müller i in. 2010; Karam i in. 2016). Globalizacja istotnie wpływa na rozwój sektora żywności poprzez zapotrzebowanie na żywność łatwą do przygotowania (ready-to-eat), spożycia (ready-to-heat), którą dodatkowo cechuje brak wymagań co do specjalnych warunków transportu oraz przechowywania (Nazir i in. 2019). Równie istotnym czynnikiem wpływającym na wzrost zainteresowania konsumentów tematem zdrowego odżywiania jest większa świadomość konsumentów, którzy kładą duży nacisk na swoje zdrowie oraz prewencje chorób cywilizacyjnych (Ajila i in. 2008; Müller i in. 2010; Sun-Waterhouse 2011).

Warzywa i owoce stanowią jeden z fundamentów piramidy żywieniowej, a ich codzienne spożycie powinno zawierać się w granicach 400-600 gramów w zależności od źródeł (Wootton-Beard i Ryan 2011). Mimo tego, iż w dobie globalizacji większość warzyw i owoców jest dostępnych przez cały rok, to wielu autorów donosi, że najwyższą wartość odżywczą produkty te posiadają 2-3 miesiące po zbiorze (Hasan i in. 2019). Innym czynnikiem wpływającym na poszukiwanie alternatywy dla świeżych warzyw i owoców jest fakt, że są to produkty szybko psujących się, co wynika z wysokiej zawartości wody w ich miąższu (Karam i in. 2016).

W celu zminimalizowania strat żywności wykorzystuje się szereg technologii, wśród których istotne miejsce zajmują suszenie. Proces suszenia wymaga doboru optymalnych warunków, tak aby uzyskany susz zachowywał podstawowe walory takie jak smak, kolor czy aromat oraz charakteryzował się wysoką wartością odżywczą i potencjałem prozdrowotnym niezmienną formie

(Hasan i in. 2019). Zwykle w celu uzyskania określonych parametrów suszu stosuje się suszenie konwencjonalne, mikrofalowe, rozpyłowe, liofilizację, a także połączanie tych metod. Otrzymane susze są wykorzystywane jako dodatki do zup sosów, napojów, lodów, ciastek ect. (Müller i in. 2010; Bochnak i Świeca 2020).

2. Rodzaje napojów funkcjonalnych

Dla przeciętnego konsumenta klasyfikacja żywności funkcjonalnej jest stosunkowo zawiła, co przede wszystkim związane jest z istnieniem wielu kryteriów podziału. Koncepcję żywności funkcjonalnej po raz pierwszy wprowadzono w Japonii w połowie lat 80 i została zdefiniowana jako żywność zawierająca składniki wpływające korzystnie na zdrowie (FOSHU, Foods for Specified Health Use) (Lau i in. 2012; Bigliardi i Galati 2013). Bazując na literaturze naukowej można dokonać podziału napojów funkcjonalnych na:

- napoje wzbogacone (np. na bazie ziół);
- napoje dla sportowców (np. izotoniczne, hipertoniczne, hipotoniczne) (Coombes i Hamilton 2000);
- napoje energetyzujące (tzw. energy drinki) (Yunusa i Ahmad 2012);
- nutraceutyki (napoje o ukierunkowanym, udokumentowanym działaniu prozdrowotnym) (Ajila i in. 2008).

Producenci natomiast ograniczają ten podział do trzech grup:

– napoje witaminowe (wellness) – mają przede wszystkim wpłynąć zarówno na poprawę ogólnej kondycji fizycznej, jak i samopoczucie spożywających je osób; ich celem jest promocja zdrowia; zawierające związki bioaktywne, takie jak skoncentrowane wyciągi z herbat, owoców i warzyw lub ziół (Heckman i in. 2010). Ponadto niektóre napoje wzbogacone w witaminy i minerały, zawierające znaczną ilość przeciwutleniaczy, zwłaszcza polifenoli zyskały miano nutraceutyków.

– napoje izotoniczne – zostały zaprojektowane głównie z myślą o osobach aktywnych fizycznie oraz w stanach wzmózonej potliwości (np. podczas upałów). Ich głównym zadaniem jest chronić organizm przed odwodnieniem, dostarczać węglowodanów oraz uzupełnić niedobory utraconych elektrolitów. Są łatwo przyswajalne, ponieważ stężenie rozpuszczalnych w nich cząstek jest takie samo jak we krwi człowieka (Yunusa i Ahmad 2012);

– napoje energetyzujące – przeznaczone są głównie dla osób, które chcą podnieść swoją sprawność fizyczną (w krótkim przedziale czasowym), psychofizyczną oraz zdolność koncentracji. Najczęściej w swoim składzie zawierają kofeinę, taurynę, jak również ziołowe ekstrakty i witaminy z grupy B (Heckman i in. 2010).

Poza wspomnianymi wyżej napojami funkcjonalnymi, równie dynamicznie rozwijającą się grupą omawianej kategorii są smoothie, fermentowane napoje mleczne oraz fermentowane soki. Produkty te zaliczane są do napojów funkcjonalnych nowej generacji, w głównej mierze ze względu na niezmiernie możliwości tworzenia nowych asortymentów dla praktycznie każdej grupy odbiorców.

2.1 Smoothie

Segment napojów, które cieszą się uznaniem konsumentów, są gęste soki przecierowe, stanowiące raczej przekąskę niż napój gaszący pragnienie. Wyroby te nazywane są smoothie. Otrzymuje się je na bazie mieszaniny soków owocowych lub warzywnych, z dodatkiem przecierów, z kawałkami owoców oraz niekiedy z udziałem mleka lub jogurtów (Nowicka i in. 2016; González-Tejedor i in. 2017). Z żywieniowego punktu widzenia smoothie to produkty o dużej atrakcyjności, ponieważ w stosunku do soków i nektarów zawierają znacznie więcej błonnika pokarmowego, witamin (głównie witaminy C) i substancji wykazujących działanie przeciwutleniające (Müller i in. 2010). Z racji bogatszego składu w porównaniu do tradycyjnych soków, mają one lepiej wpływać na samopoczucie i funkcjonowanie organizmu.

2.2 Napoje mleczne

Spośród napojów mlecznych najbardziej popularne są kefiry oraz napoje jogurtowe, które stanowią doskonałe źródło bakterii probiotycznych. Skutki zdrowotne przypisywane probiotykom obejmują łagodzenie objawów nietolerancji laktozy, leczenie biegunek związanych z antybiotykoterapią, łagodzenie objawów atopowego zapalenia skóry u dzieci i zapobieganie ryzyku

wystąpienia alergii w niemowlęctwie, łagodzenie objawów choroby zapalnej jelit (IBD) i zespół jelita drażliwego (IBS) oraz wzmocnienie systemu immunologicznego (Özer i Kirmaci 2010). Do najczęściej włączanych szczepów bakterii probiotycznych należą *L. acidophilus La-14*, *L. rhamnosus Le-32* i *L. casei Lc-11* z grupy bakterii fermentacji mlekowej oraz *B. bifidum Bb-06* wśród bifidobakterii. Dodatkowo komercyjne napoje mlecznych są często wzbogacone w bioaktywne składniki, takie jak kwasy tłuszczowe omega-3: kwas α -linolowy (C18: 3n-3, ALA), kwas eikozapentaenowy (C20: 5n-3, EPA) i kwas dokozaheksanowy (C22: 6 n-3, DHA) (Özer i Kirmaci 2010). Wykazano również, że białka mleka, a zwłaszcza kazeiny, mogą być prekursorami biologicznie aktywnych peptydów wykazujących różne efekty fizjologiczne. Inną grupę dodatków funkcjonalnych spotykanych w napojach stanowią sterole roślinne (w tym fitosterole i fitostanole), które istotnie wpływają na obniżenie poziomu cholesterolu we krwi. Oprócz wyżej wymienionych nutraceutyków, aby zrekompenzować straty zachodzące podczas przetwarzania, do napojów mlecznych dodawane witaminy i minerały. Najczęściej dodawane do napojów mlecznych są wapń, magnez i żelazo (Özer i Kirmaci 2010).

2.3 Warzywne napoje fermentowane

Fermentowane soki warzywne oraz warzywno-owocowe, stanowią doskonałą alternatywę napojów mlecznych. Wzrost zainteresowania funkcjonalnymi produktami niemlecznymi wynika głównie ze wzrostu liczby osób wykazujących nietolerancję laktozy, bądź alergię na składniki mleka. Do produkcji fermentowanych soków najczęściej są wykorzystywane kapusta, burak ćwikłowy, pomidor, ogórek, marchew oraz jabłka (Zaręba i Ziarno 2011).

3. Napoje sproszkowane

Napoje sproszkowane, to nowy trend na rynku żywności, który szybko spotkał się z akceptacją ze strony konsumentów. Obecnie wzrasta różnorodność sproszkowanych produktów dostępnych w handlu detalicznym (Antúnez i in. 2017). Niektóre z nich mogą być wykorzystywane jako półprodukty w wyrobach cukierniczych, bądź jako dodatki do zup, sosów, lodów, mieszanek dla niemowląt, a także jako dodatek do innych napojów lub smoothie (Sun-Waterhouse 2011).

Napoje w proszku wpisują się w ideologię żywności wygodnej („easy-to-prepare” oraz „easy-to-eat”) głównie ze względu na niewielki nakład pracy w celu przygotowania ich przed spożyciem. Zminimalizowana zawartość wody w produkcie pozwala na wydłużenie okresu przydatności do spożycia nawet do 2 lat, bez istotnych zmian w jakości produktu (Shittu i Lawal 2007).

Należy podkreślić, że nie wszystkie produkty sproszkowane można zaliczyć do grupy produktów instant. Instancjacja pozwala na natychmiastowe przyjęcie i szybkie rozpuszczenie się w wodzie. Dzięki wykorzystaniu odpowiednich technik suszenia, podczas produkcji sproszkowanych napojów funkcjonalnych, można zapobiec utrudnieniom podczas rehydratacji (ponowne rozpuszczenie w wodzie), takim jak niejednorodna konsystencja, zbijanie się w grudy itp., jak również eliminujący takie fazy jak: nasiąkanie, pęcznienie, hydroliza itp. Funkcjonalne napoje sproszkowane ze względu na dużą zawartość błonnika po uwodnieniu zarówno w zimnej jak i ciepłej wodzie tworzą zawiesinę (Bochnak i Świeca 2020). Jak dotąd stabilność uwodnionych napojów była głównie badane dla proszków poddanych długotrwałej rehydratacji (Cano-Chauca i in. 2005). Ponadto takie napoje są zazwyczaj wzbogacane w hydrokoloidy, które istotnie poprawiają stabilność emulsji. Również stopień fragmentacji suszu różnicuje zdolność rehydratacji sproszkowanych napojów (Karam i in. 2016).

Większość doniesień naukowych z zakresu sproszkowanych napojów dotyczy ich ogólnej akceptowalności i jakości. Istnieje potrzeba uzupełnienia luki dotyczącej ich właściwości i wartości odżywczej płynącej ze spożycia zarówno w badaniach prowadzonych *in vitro* jak i *in vivo*.

4. Projektowanie napojów sproszkowanych

W przypadku projektowania napojów sproszkowanych należy odpowiedzieć sobie na szereg pytań, które usystematyzują oczekiwania oraz pozwolą na zoptymalizowanie procesu produkcji (Sun-Waterhouse 2011).

Przede wszystkim należy zdefiniować grupę docelową, czyli kto będzie głównym konsumentem napoju funkcjonalnego. Poszczególne grupy konsumentów charakteryzują się różnymi potrzebami i oczekiwaniami. Na przykład, w kwestii osób starszych napoje w proszku stanowią duże udogodnienie zwłaszcza ze względu na łatwość przygotowania oraz ułatwione przełykanie czy też ich strawność. Natomiast, w przypadku funkcjonalnych napojów dla dzieci należy dodatkowo zwrócić uwagę na atrakcyjny kolor, który będzie wzbudzał ciekawość najmłodszej grupy odbiorców (Sun-Waterhouse 2011; Nazir i in. 2019).

Spożywanie napojów funkcjonalnych związane jest z usprawnieniem wybranych funkcji organizmu na przykład wzmocnieniem układu immunologicznego, wzrostem energii i wydajności, kontrolą apetytu, poprawą koncentracji i sprawności umysłowej, redukcją masy ciała, zapobieganiem chorobom sercowo-naczyniowym, ochroną przed stresem oksydacyjnym. Założenie określonego wpływu na zdrowie pozwoli na wybór ukierunkowanych substancji bioaktywnych, a w konsekwencji dobór odpowiednich składników matrycy. Pozwoli to wybór kluczowych składników bioaktywnych, które wpływają korzystnie na zdrowie. Mogą to być m.in. bakterie probiotyczne, kwasy tłuszczowe omega-3, polifenole, karotenoidy, białka, oligosacharydy, sterole, witaminy, składniki mineralne. Należy mieć na uwadze, że różne matryce związków bioaktywnych charakteryzują się zróżnicowaną bioaktywnością i biodostępnością (Sun-Waterhouse 2011).

Czynnikiem krytycznym, determinującym jakość końcową napojów w proszku jest wykorzystana technologia suszenia. Optymalizacja warunków wyraźnie wpływają na odtworzenie i jakość suszonych napojów w proszku. Niektóre straty żywieniowe występują podczas sproszkowania tak samo, jak w przypadku innych technik konserwacji. Ważne jest, aby stężenie wybranych związków bioaktywnych w napojach sproszkowanych pozostało na odpowiednim poziomie. Ponadto koncentracja składników bioaktywnych wpływa znacząco na cechy sensoryczne produktów np. wysokie stężenie nierozpuszczalnego błonnika lub polifenoli może w negatywny sposób wpływ na akceptowalność sproszkowanych napojów funkcjonalnych (np. gorzyc i cierpkość związana z wysoką zawartością polifenoli) (Wootton-Beard i Ryan 2011).

Powszechnie przyjmuje się, że nie wszystkie składniki obecne w matrycy żywności mogą być całkowicie biodostępne, dlatego przy formułowaniu sproszkowanych napojów funkcjonalnej należy również wziąć pod uwagę wpływ struktury (rozdrobienie) na biodostępność (Minekus i in. 2014) Dostosowana ochrona docelowego związku bioaktywnego jest wymagana nie tylko podczas przetwarzania żywności, transportu i przechowywania, ale także podczas przemieszczania się wzdłuż przewodu pokarmowego po spożyciu. Na różnych odcinkach układu pokarmowego matryca jest narażona na działanie zmiennego pH oraz enzymów. Technologie mikrokapsułkowania pozwalają na tworzenie matryc żywności, chroniących związki bioaktywne przed szkodliwym środowiskiem i kontroluje dostarczanie oraz uwalnianie w miejscu docelowego wchłaniania (Nazir i in. 2019).

5. Podsumowanie

Obecny szybki rozwój sektora żywności funkcjonalnej stymulowany jest przede wszystkim rosnącym zapotrzebowaniem ze strony konsumentów. Aktualne trendy i zmieniające się wymagania odbiorców generują potrzebę tworzenia nowych, funkcjonalnych produktów spożywczych z wykorzystaniem innowacyjnych technologii przetwarzania i utrwalania żywności. Składniki pochodzenia roślinnego jako główne źródło związków bioaktywnych są fundamentem rynku żywności, ze względu na szereg korzyści zdrowotnych. Ustrukturyzowane podejście do projektowania i opracowywania gotowych produktów funkcjonalnych jest niezbędne, aby zapewnić pożądaną jakość gotowego napoju. Optymalizacja synergicznych interakcji między bioaktywnymi składnikami i innymi składnikami żywności podczas przetwarzania i przechowywania żywności jest kluczem do innowacji w tym obszarze żywności funkcjonalnej.

Napoje w proszku szybko spotkały się z akceptacją ze strony konsumentów. Duża różnorodność pozwala na ich wykorzystywanie nie tylko jako wygodny do przygotowania napój, ale także jako półprodukty w wyrobach cukierniczych, dodatki do zup, sosów, lodów, żywności dla niemowląt, a także jako dodatek do innych napojów lub smoothie. W związku z tym, sproszkowane napoje funkcjonalne mają duże znaczenie dla współczesnych konsumentów, ponieważ nie tylko gaszą pragnienie, ale także generują pożądane zmiany fizjologiczne.

6. Literatura

- Ajila CM, Leelavathi K, Prasada Rao UJS (2008) Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder, *Journal of Cereal Science*, 48(2), 319–326.
- Bigliardi B, Galati F (2013) Innovation trends in the food industry: The case of functional foods, *Trends in Food Science and Technology*. 31(2), 118–129.
- Bochnak J, Świeca M (2020) Potentially bioaccessible phenolics, antioxidant capacities and the colour of carrot, pumpkin and apple powders – effect of drying temperature and sample structure, *International Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 136–145.
- Cano-Chauca M, Stringheta PC, Ramos AM, et al. (2005) Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6, 420–428.
- Coombes JS, Hamilton KL (2000) The effectiveness of commercially available sports drinks, *Sports Medicine*, 29(3), 181–209.
- González-Tejedor GA, Martínez-Hernández GB, Garre1 A, et al. (2017) Quality Changes and Shelf-Life Prediction of a Fresh Fruit and Vegetable Purple Smoothie, *Food and Bioprocess Technology*, 10(10), 1892–1904.
- Hasan MU, Malik AU, Ali S, et al. (2019) Modern drying techniques in fruits and vegetables to overcome postharvest losses: A review, *Journal of Food Processing and Preservation*, 1–15.
- Heckman MA, Sherry K, de Mejia EG (2010) Energy drinks: An assessment of their market size, consumer demographics, ingredient profile, functionality, and regulations in the United States, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 303–317.
- Karam MC, Petit J, Zimmer D, et al. (2016) Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review, *Journal of Food Engineering*, 188, 32–49.
- Lau TC, Chan MW, Tan HP, et al. (2012) Functional food: A growing trend among the health conscious, *Asian Social Science*, 9(1), 198–208.
- Minekus M, Alminger M, Alvito P, et al. (2014) A standardised static in vitro digestion method suitable for food – an international consensus, *Food & Function*, 5, 1113–1124.
- Müller L, Gnoyke S, Popken AM, et al. (2010) Antioxidant capacity and related parameters of different fruit formulations, *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 992–999.
- Nazir M, Arif S, Sanaullah R, et al. (2019) Opportunities and challenges for functional and medicinal beverages: Current and future trends, *Trends in Food Science & Technology*. Elsevier, 88, 513–526.
- Nowicka P, Wojdyło A, Samoticha J (2016) Evaluation of phytochemicals, antioxidant capacity, and antidiabetic activity of novel smoothies from selected Prunus fruits, *Journal of Functional Foods*. 25, 397–407.
- Özer BH, Kirmaci HA (2010) Functional milks and dairy beverages, *International Journal of Dairy Technology*, 63(1), 1–15.
- Shittu TA, Lawal MO, (2007) Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages, *Food Chemistry*, 100, 91–98.
- Sun-Waterhouse D, (2011) The development of fruit-based functional foods targeting the health and wellness market: a review, *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 899–920.
- Wootton-Beard PC, Ryan L (2011) Improving public health? The role of antioxidant-rich fruit and vegetable beverages, *FRIN*. Elsevier Ltd, 44(10), 3135–3148.
- Yunusa I, Ahmad I (2012) Energy- Drinks: Composition and Health Benefits, *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 4(2), 186–191.
- Zaręba D, Ziarno M (2011) Alternatywne probiotyczne napoje warzywne i owocowe, *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLIV(2), 160–168.

2. Postępowanie żywieniowe w chorobie Leśniowskiego-Crohna

– opis przypadku i projekt diety

Nutritional management in Leśniowski-Crohn's disease – case report and diet project

Dylał Agnieszka⁽¹⁾, Krawczyk Katarzyna⁽¹⁾, Sularz Olga⁽¹⁾, Doniec Joanna⁽²⁾, Skoczylas Joanna⁽¹⁾, Koronowicz Aneta⁽¹⁾

⁽¹⁾Katedra Żywienia Człowieka i Dietetyki, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

⁽²⁾Katedra Technologii Produktów Roślinnych i Higieny Żywienia, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Aneta Koronowicz, prof. UR

Dylał Agnieszka: agnieszka.dylag@poczta.fm

Słowa kluczowe: nieswoiste ziarniakowe zapalenie jelit, dieta

Streszczenie

Choroba Leśniowskiego-Crohna to przewlekłe, nieswoiste schorzenie zapalne, obejmujące różne odcinki przewodu pokarmowego. Nie określono jednoznacznie przyczyn rozwoju tej choroby, w związku z czym leczenie przyczynowe nie jest dostępne. Do czynników odgrywających rolę w etiologii i patogenezie zalicza się uwarunkowania genetyczne, środowiskowe oraz immunologiczne. Wśród charakterystycznych objawów należy wymienić bóle brzucha, biegunkę, gorączkę i osłabienie. W terapii obok leczenia farmakologicznego dobrze zaplanowane i prowadzone leczenie żywieniowe ma istotne znaczenie, przede wszystkim w aktywnej fazie choroby. W okresie remisji postępowanie dietetyczne również znajduje swoje zastosowanie, chociaż zalecenia dotyczące odżywiania nie różnią się szczególnie od zasad prawidłowego żywienia zdrowej populacji. Dieta powinna być zbilansowana, urozmaicona i bogata w składniki odżywcze, z wykluczeniem produktów źle tolerowanych przez chorego.

Celem niniejszej pracy było przygotowanie projektu diety oraz zaleceń żywieniowych w chorobie Leśniowskiego-Crohna, na przykładzie pacjentki u której zdiagnozowano to schorzenie.

1. Wstęp i cel pracy

Do schorzeń określanych jako nieswoiste choroby zapalne jelit należą choroba Leśniowskiego-Crohna, wrzodziejące zapalenie jelita grubego oraz nieokreślone zapalenia okrężnicy. Ich wspólną cechą stanowi złożona, wieloczynnikowa patogeneza, jak również nieznaną pierwotną przyczyną powstawania (Bartnik 2007).

Choroba Leśniowskiego-Crohna to pełnościenne, na ogół ziarniakowe zapalenie jelit, charakteryzujące się przewlekłym przebiegiem z okresami zaostrzeń i remisji. Może zajmować każdy odcinek przewodu pokarmowego, począwszy od jamy ustnej aż do odbytu, jednak najczęściej dotyczy jelita krętego. Proces zapalny inicjowany jest w błonie śluzowej, po czym stopniowo obejmuje wszystkie warstwy ściany przewodu pokarmowego (Width i Reinhard 2009). Prowadzi to do pojawienia się owrzodzeń błony śluzowej, ropni, przetok oraz szczelin, umiejscowionych między jelitami lub pomiędzy jelitem a ścianą brzucha bądź też w okolicy odbytu (Ciborowska i Rudnicka 2015).

Objawy choroby Leśniowskiego-Crohna są różnorodne oraz zależne od umiejscowienia, rozległości i stopnia zaawansowania procesu zapalnego. Początkowo pojawia się utrata łaknienia, gorączka, osłabienie, uczucie wyczerpania, a następnie ból brzucha, biegunka oraz utrata masy ciała (Wawryniuk i in. 2017).

Etiologia choroby Leśniowskiego-Crohna nie została do końca poznana. Powszechnie uważa się, że istotny wpływ na jej rozwój ma nieprawidłowa odpowiedź immunologiczna oraz uwarunkowania genetyczne. Tymczasem gwałtowny wzrost zdiagnozowanych przypadków sugeruje,

że do wystąpienia bądź zaostrzenia choroby prawdopodobnie w większym stopniu mogą przyczyniać się czynniki żywieniowe i środowiskowe. Do czynników środowiskowych wpływających na etiologię i patogenezę choroby Leśniowskiego-Crohna zalicza się przede wszystkim dietę, bakteryjną florę jelitową, związki chemiczne zawarte w pożywieniu i otoczeniu człowieka oraz palenie tytoniu (Ciesielczyk i Thor 2013).

Przyczyna choroby Leśniowskiego-Crohna nie została jednoznacznie określona, co uniemożliwia zastosowanie leczenia przyczynowego oraz wyleczenie schorzenia. W związku z tym postępowanie terapeutyczne ma na celu łagodzenie objawów, indukowanie remisji i jak najdłuższe jej utrzymywanie oraz niedopuszczenie do pojawienia się powikłań. Dąży się również do unikania lub zmniejszenia zakresu interwencji chirurgicznej. Leczenie choroby opiera się na kombinacji farmakoterapii, leczenia żywieniowego oraz chirurgicznego. Na postępowanie zachowawcze składa się właściwe odżywianie, uzupełnianie niedoborów, a także leczenie przeciwzapalne, immunosupresyjne, biologiczne i objawowe (Hebзда i in. 2011).

Podstawę leczenia farmakologicznego stanowią leki wpływające na układ immunologiczny, wśród których wymienia się glikokortykosteroidy, pochodne kwasu 5-aminosalicylowego, leki immunosupresyjne, antybiotyki oraz leki biologiczne (Wawryniuk i in. 2017). Oprócz leczenia farmakologicznego dobrze zaplanowane i prowadzone leczenie żywieniowe spełnia niebagatelną rolę.

Szacuje się, że do niedoborów żywieniowych może dojść u 20-85% osób cierpiących na nieswoiste choroby zapalne jelit. W przypadku choroby Leśniowskiego-Crohna dominuje niedożywienie białkowo-energetyczne. Obserwuje się również zwiększone ryzyko wystąpienia niedoborów składników mineralnych i witamin, takich jak m.in. wapń, magnez, żelazo, cynk, kwas foliowy, witamina B₁₂ oraz witaminy rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E i K). Wynika to najczęściej z rozległego stanu zapalnego lub usunięcia znacznej części przewodu pokarmowego (Lucendo i De Rezende 2009).

Główny cel postępowania żywieniowego to zapobieganie niedożywieniu, uzupełnianie powstałych niedoborów, jak również przeciwdziałanie wystąpieniu podrażnień śluzówki jelit. Ponadto właściwe postępowanie dietetyczne podczas ostrych rzutów choroby pomaga odciążyć przewód pokarmowy oraz ułatwia osiągnięcie lub utrzymanie remisji (Baczewska-Mazurkiewicz i Rydzewska 2011).

Dieta w chorobie Leśniowskiego-Crohna różni się w okresie zaostrzenia i remisji. W okresie aktywności choroby celem leczenia żywieniowego jest odciążenie jelita poprzez zastosowanie diety płynnej. Istotny element stanowi dostarczenie odpowiedniej ilości płynów, tak aby uzupełnić związane z biegunką straty wody i elektrolitów. W sytuacji gdy, nawadnianie drogą doustną staje się nieskuteczne wówczas stosuje się uzupełnianie płynów drogą dożylną. Czasem w ostrej fazie choroby należy zastosować całkowite żywienie pozajelitowe (m.in. kiedy toczący się stan zapalny obejmuje górny odcinek jelita cienkiego) (Jarosz i in. 2010). W okresie remisji zalecenia dotyczące odżywiania nie różnią się szczególnie od zasad prawidłowego żywienia zdrowej populacji (jeżeli nie występuje zespół złego wchłaniania oraz niedobory masy ciała, białkowe, elektrolitowe czy morfotyczne). Dieta powinna być bogatoenergetyczna, niskotłuszczowa, ubogobłonnikowa, łatwostrawna oraz bogata w białko, witaminy i składniki mineralne (Ciborowska i Rudnicka 2015). Źródłem błonnika powinny być przede wszystkim młode, delikatne warzywa oraz dojrzałe owoce, z których usuwa się skórkę i pestki. Spożywanie soków, musów i przecierów przyczynia się do lepszej przyswajalności składników pokarmowych oraz nie wpływa drażniąco na jelita. Należy unikać produktów wywołujących oraz nasilających objawy, takich jak m.in. kawa, czekolada, herbata, alkohol oraz warzywa wzdymające (np. kapusta, fasola). Ponadto u chorych często obserwuje się nietolerancję laktozy, w związku z czym należy ograniczyć spożycie mleka i produktów mlecznych bogatych w laktozę. Sposób przygotowywania posiłków powinien uwzględniać techniki poprawiające strawność przyrządzonych potraw, a więc należy również unikać smażenia oraz pieczenia w tłuszczu (Jarosz i in. 2010).

Celem niniejszej pracy było przygotowanie projektu diety oraz zaleceń żywieniowych w chorobie Leśniowskiego-Crohna na przykładzie opisu przypadku pacjentki, u której zdiagnozowano chorobę.

2. Opis przypadku

W 2010 roku u pacjentki (lat 16) zdiagnozowano chorobę Leśniowskiego-Crohna na podstawie m. in. obecności przetok międzyjelitowych oraz przetoki okołodbytniczej. Pacjentkę wielokrotnie hospitalizowano z powodu zaostrzeń choroby. Na przestrzeni 2010-2014 roku przeszła ona trzy operacje przetoki okołodbytniczej, a w 2014 roku również operację wrzodu odźwiernika. W 2014 roku wprowadzono leczenie pozajelitowe.

W badaniach laboratoryjnych z sierpnia 2017 roku nie stwierdzono istotnych odchyłeń. Wynik rezonansu magnetycznego wykazał występowanie przetok okołodbytniczych. Pomimo leczenia azatiopryną chora otrzymała 312 punktów w skali CDAI (umiarkowana aktywność choroby). Po wykonaniu niezbędnych badań, pacjentka została zakwalifikowana do terapii biologicznej infliksymabem. W dniu 28 sierpnia 2017 roku podano pierwszą dawkę leku Remsima® (265 mg). Pacjentce zalecono wówczas dietę ubogoresztkową oraz wyeliminowanie mleka.

W styczniu 2018 roku podano piątą dawkę leku Remsima® (275 mg). Pacjentka nie skarżyła się na żadne dolegliwości, badania laboratoryjne nie wykazały odchyłeń od normy, a wydzielanie z przetoki okołodbytniczej uległo zmniejszeniu. Wskaźnik CDAI wyniósł 72 punkty, co oznacza remisję choroby. Po stwierdzeniu skuteczności leczenia, pacjentkę wypisano do domu w stanie ogólnym dobrym. Ponownie zalecono dietę ubogoresztkową oraz eliminację mleka. Chora regularnie przyjmuje następujące leki: Imuran® 50 mg (dwie tabletki raz dziennie), Pentasa® 500 mg (dwie tabletki trzy razy dziennie) oraz Vitrum® D3 (jedna tabletki raz dziennie).

W marcu 2018 roku pacjentka zgłosiła się do jednego z krakowskich szpitali w celu kontynuacji terapii biologicznej, czyli podania szóstej dawki leku Remsima® (285 mg). W chwili przyjęcia przeszła ona badanie fizykalne, podczas którego dokonano pomiaru wzrostu (177 cm), masy ciała (56 kg) oraz obliczono wskaźnik masy ciała (BMI = 17.87 kg m⁻²). Wyniki badań laboratoryjnych były prawidłowe, z nielicznymi odchyleniami od normy.

Do oceny stanu odżywienia pacjentki wykorzystano skalę SGA oraz NRS 2002. Według Subiektywnej Globalnej Oceny Stanu Odżywienia wykazano podejrzenie niedożywienia lub niedożywienie średniego stopnia, natomiast w przypadku Oceny Ryzyka Związanego ze Stanem Odżywienia wskazano rozważyć postępowanie zachowawcze. W kwietniu 2018 roku przeprowadzono z pacjentką wywiad żywieniowy oraz kwestionariusz ankiety do badania zwyczajów żywieniowych, pozwalający na uzyskanie szczegółowych informacji dotyczących jej sposobu odżywiania się oraz aktualnej masy ciała (57 kg). Jej wskaźnik BMI wynosił wtedy 18.19 kg m⁻², co świadczy o niedożywieniu. Zastosowanie diety ubogoresztkowej przyniosło oczekiwany efekt, gdyż umożliwiło pacjentce spożywanie większości produktów i potraw. Wyjątek stanowi mleko, ze względu na obecność laktozy oraz owoce cytrusowe, po których często występuje reakcja alergiczna. Ponadto pacjentka stosowała suplementację witaminą B₃ (niacyna).

Pacjentka informacje na temat żywienia w chorobie Leśniowskiego-Crohna pozyskiwała od dietetyka, lekarza oraz z Internetu, a swój poziom wiedzy w tym zakresie uważała za wystarczający. Była świadoma, iż odpowiednia dieta korzystnie wpływa na przebieg schorzenia, nawet przy stosowanej farmakoterapii.

3. Projekt diety

Dane pacjentki oraz wyniki pomiarów antropometrycznych:

Płeć: kobieta; wiek: 24 lata; wzrost: 177 cm; masa ciała: 57 kg;

PAL (współczynnik aktywności fizycznej) = 1.4; wskaźnik BMI: 18.19 kg m⁻².

Zapotrzebowanie energetyczne:

PPM = S × P × 24; gdzie: S – powierzchnia skóry [m²], P – podstawowa przemiana materii [kcal m⁻²powierzchni skóry h⁻¹].

S = 0.0167 × √W × H; gdzie: W – masa ciała [kg], H – wzrost [cm].

$$\text{CPM} = \text{PPM} \times \text{PAL}$$

Dla aktualnej masy ciała:

$$S = 0.0167 \times \sqrt{57 \times 177} = 1.68 \text{ m}^2; \quad P = 37 \text{ kcal m}^{-2} \text{ powierzchni skóry h}^{-1};$$

$$\text{PPM} = 1.68 \times 37 \times 24 = 1492 \text{ kcal};$$

$$\text{CPM} = 1492 \times 1.4 = 2089 \text{ kcal}.$$

Całkowite dzienne zapotrzebowanie energetyczne z uwzględnieniem sugerowanego zapotrzebowania na energię w zależności od wskaźnika BMI.

31-35 kcal kg⁻¹m.c. dla wskaźnika BMI wynoszącego 15-19 kg m⁻²;

$$57 \text{ kg} \times 35 \text{ kcal} = 1995 \text{ kcal}.$$

Dla należnej masy ciała:

Obliczenie należnej masy ciała według wzoru Lorentza

Dla kobiet: n. m. c. = $H - 100 - (H - 150)/2$; gdzie: H – wzrost [cm].

$$\text{n. m. c.} = 177 - 100 - (177 - 150)/2 = 63.5 \text{ kg};$$

$$S = 0.0167 \times \sqrt{177 \times 63.5} = 1.77 \text{ m}^2; \quad P = 37 \text{ kcal m}^{-2} \text{ powierzchni skóry h}^{-1};$$

$$\text{PPM} = 1.77 \times 37 \times 24 = 1572 \text{ kcal};$$

$$\text{CPM} = 1572 \times 1.4 = 2201 \text{ kcal}.$$

Podstawowe składniki odżywcze

Białko: Ze względu na niedożywienie pacjentki zwiększono podaż białka do 1,5 g kg⁻¹m.c., co daje około 16% udział w dziennym zapotrzebowaniu energetycznym, tj. 352 kcal (~88g).

Tłuszcz: Około 28% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tj. 616 kcal (~68 g).

Węglowodany ogółem: Około 56% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tj. 1233 kcal (~308 g).

Węglowodany przyswajalne = węglowodany ogółem – błonnik pokarmowy, tj. 308g – 20g = = 288g

Błonnik pokarmowy: 25 g/dobę (norma AI) → zmniejszenie podaży w stosunku do normy do 20 g

Składniki mineralne

Wapń: 1000 mg/os./d (norma RDA) → zwiększenie podaży w stosunku do normy o 10%, co daje 1100 mg/os./d

Magnez: 310 mg/os./d (norma RDA) → zwiększenie podaży w stosunku do normy o 10%, co daje 341 mg/os./d

Witaminy

Foliany: 450 µg równoważnika folianów/os./d (norma RDA)

Witamina B₁₂: 2.4 µg/os./d (norma RDA) → zwiększenie podaży w stosunku do normy o 20%, co daje 2.9 µg/os./d

Jadłospis został przygotowany na 7 dni, a podczas jego projektowania wzięto pod uwagę zapotrzebowanie energetyczne, podstawowe składniki odżywcze, błonnik pokarmowy, składniki mineralne (wapń, magnez) oraz witaminy (foliany, witamina B₁₂). Całodzienne zapotrzebowanie energetyczne pacjentki, ze względu na nieznaczne niedożywienie obliczono na podstawie należnej masy ciała, otrzymując 2201 kcal/d. Wartości tej nie wyliczono w oparciu o sugerowane zapotrzebowanie na energię w zależności od wskaźnika BMI. W takim przypadku całodzienne zapotrzebowanie energetyczne wyniosłoby zaledwie 1995 kcal, a w związku z tym byłoby mniejsze niż w przeliczeniu dla aktualnej masy ciała. W odniesieniu do Norm żywienia dla populacji Polski

z 2017 roku w diecie zwiększono podaż białka (do 1,5 g/d) oraz wapnia, magnezu i witaminy B₁₂, natomiast zmniejszono ilość błonnika pokarmowego.

Przy bilansowaniu jadłospisu uwzględniono granicę błędu +/- 10%. W każdym dniu zapotrzebowanie na poszczególne składniki odżywcze i błonnik zostało pokryte zgodnie z założeniami diety (Tab. 1 i 2).

Tab. 1. Ilość dostarczonej energii oraz zawartość podstawowych składników pokarmowych i błonnika w tygodniowej diecie pacjentki.

Dzień	Energia [kcal]	Białko [g]	Tłuszcz [g]	Węglowodany [g]	Błonnik pokarmowy [g]
1	2148.6	94.1	61.5	301.1	20.9
2	2047.0	80.8	70.0	272.9	21.1
3	2040.7	87.9	75.0	260.5	19.6
4	2057.7	86.4	70.1	278.4	21.7
5	2033.7	96.0	70.5	259.3	21.2
6	2011.2	79.6	64.0	288.8	22.0
7	2090.0	95.1	73.8	272.6	21.7
Wartość średnia (\bar{x})	2061.3	88.6	69.3	276.2	21.2
Założenie	2201.0	88.0	68.0	288.0	20.0
Procent realizacji założenia	93.7	100.6	101.9	95.9	105.9

Tab. 2. Zawartość wybranych składników mineralnych i witamin w tygodniowej diecie pacjentki

.Dzień	Wapń [mg]	Magnez [mg]	Foliany [µg]	Witamina B ₁₂ [µg]
1	1073.7	357.4	492.4	3.2
2	1125.8	354.8	418.5	3.2
3	1021.8	346.4	445.8	2.7
4	1021.0	340.1	470.7	3.2
5	1017.9	378.1	471.4	3.2
6	1087.5	372.5	409.2	3.0
7	1001.9	355.2	407.5	3.3
Wartość średnia (\bar{x})	1049.9	357.8	445.1	3.1
Założenie	1100.0	341.0	450.0	2.9
Procentrealizacji założenia	95.4	104.9	98.9	107.4

Tab. 3. Tygodniowy plan żywieniowy.

Dzień	Śniadanie	II śniadanie	Obiad	Podwieczerek	Kolacja
1	Bułka pszenna z twarogiem i dżemem + jabłko + słaba herbata z mlekiem bezlaktozowym	Placuszki bananowe + woda	Zupa pomidorowa z makaronem + duszona pierś z kurczaka, ryż, surówka ze zblanszowanego szpinaku i pomidora + rozcieńczony sok jabłkowy	Jogurt naturalny + brzoskwinia + wafle ryżowe + woda	Kanapka z polędwicą sopocką, ogórkiem i sałatą + mleko bezlaktozowe
2	Omlet z bananem i dżemem brzoskwiniowym + mleko kokosowe	Kefir z bułką mleczną + morela + woda	Zupa krem z dyni + naleśniki z warzywami + woda	Ryż z jabłkiem i jogurtem naturalnym + woda	Kanapki z szynką z piersi kurczaka, serem twarogowym i pomidorem + woda
3	Kanapki z szynką z indyka + surówka z ogórków i pomidorów + woda	Koktajl z awokado, szpinaku i banana + woda	Zupa selerowa z grzankami + schab gotowany na parze, kopytka i gotowane buraczki + rozcieńczony sok jabłkowy	Kasza manna na mleku z brzoskwinia + woda	Makaron ze szpinakiem i mozzarellą + herbata ziołowa
4	Jajecznica na parze + kanapka z awokado i pomidorem + słaba herbata	Ryżanka na mleku bezlaktozowym z morelami + woda	Barszcz czerwony, zabieleny z ziemniakami + indyk gotowany, kasza jęczmienna i fasolka szparagowa + kompot z truskawek	Jogurt naturalny z prażonym jabłkiem i biszkoptami + woda	Salatka z makaronem, serem feta i warzywami + woda
5	Kanapka z pastą z tuńczyka i twarogu + pomidor + woda	Koktajl bananowo-melonowy z płatkami owsianymi + woda	Zupa jarzynowa zabieleną + pierogi ze szpinakiem i serem feta	Budyńna mleku kokosowym + brzoskwinia + woda	Salatka z kaszą jęczmienną i jajkiem + słaba herbata
6	Płatki kukurydziane z mlekiem i owocami + rozcieńczony sok marchwiowo-brzoskwiniowy	Salatka jarzynowa + chleb + woda	Kasza manna na wywarze jarzynowym + makaron z kurczakiem i warzywami + woda	Jogurt + nektarynka + wafle kukurydziane + woda	Kanapka z pasztetem z kurczaka, serem żółtym i sałatą + słaba herbata
7	Placuszki z mąki kukurydzianej z jogurtem i jabłkiem + słaba herbata	Kanapka z pastą z awokado i marchwi + słaba kawa	Rosół z makaronem + cielęcina, puree z ziemniaków i pietruszki, sałata ze śmietaną + woda	Krem ryżowy + mus truskawkowo-brzoskwiniowy + woda	Kanapka z serem twarogowym i pomidorem + słaba herbata

Na podstawie wywiadu żywieniowego oraz kwestionariusza częstotliwości spożycia pozyskano informacje na temat zwyczajów żywieniowych pacjentki. Pacjentka spożywała cztery posiłki dziennie, lecz nie zawsze o stałych porach. Kilka razy w tygodniu sięgała po słodkie oraz słone przekąski pomiędzy posiłkami. Słodziła gorące napoje, takie jak herbata czy kawa oraz często sięgała po wody smakowe i napoje słodzone. Deklarowała spożywanie owoców kilka razy w tygodniu, natomiast po warzywa sięgała tylko kilka razy w miesiącu.

Jadłospis zaplanowano i sporządzono opierając się na zaleceniach żywieniowych w chorobie Leśniowskiego-Crohna w okresie remisji (Tab. 3). Podczas jego tworzenia bazowano na zasadach diety łatwostrawnej oraz podstawowych zasadach zdrowego żywienia. Wykorzystano produkty preferowane i tolerowane przez pacjentkę, z równoczesnym korygowaniem popełnianych przez nią błędów żywieniowych. Wody smakowe zastąpiono wodą mineralną, a słodczyce owocami oraz samodzielnie wykonanymi deserami. Dominują oczyszczone produkty zbożowe tj. pieczywo pszenne, makaron i ryż biały. Warzywa i owoce podawane są w postaci surowej bądź też po zastosowaniu obróbki termicznej. Ponadto zalecono pacjentce usuwanie skórek oraz pestek z warzyw i owoców, gdyż są one bogate w błonnik pokarmowy. Z uwagi na zaburzoną tolerancję laktozy, jak również konieczność dostarczenia odpowiedniej ilości wapnia, chorej zaproponowano mleko bezlaktozowe, mleczne produkty fermentowane oraz napoje roślinne. Zastosowano odpowiednie techniki kulinarne, czyli przede wszystkim gotowanie w wodzie i na parze, czasem duszenie.

W celu sprawdzenia poprawności przygotowanego jadłospisu zastosowano test Bielińskiej z modyfikacją Kuleszy (Tab. 4) (Gawęcki i Hryniewiecki 2008).

Tab. 4. Wyniki oceny tygodniowego jadłospisu w odniesieniu do testu Bielińskiej z modyfikacją Kuleszy.

Typ posiłku	Rodzaj posiłku	Procent posiłków w zależności od ich składu ilościowego				
		Śniadanie		Obiad	Podwieczorek	Kolacja
		I	II			
1	Węglowodany lub węglowodany i tłuszcze	0	0	0	0	0
2	Tak jak 1 + produkty będące źródłem białka zwierzęcego	0	0	0	0	0
3	Tak jak 1 + dodatek mleka lub przetworów mlecznych	0	0	0	0	0
4	Tak jak 1 + produkty będące źródłem białka zwierzęcego + mleko lub produkty mleczne	0	0	0	0	0
5*	Tak jak 2 + warzywa lub owoce	8.5	0	5.7	0	2.9
6*	Tak jak 3 + warzywa lub owoce	0	0	0	0	2.9
7*	Tak jak 4 + warzywa lub owoce	11.4	20	14.3	14.3	14.3
8	Tak jak 1 + warzywa lub owoce	0	0	0	5.7	0
9	Warzywa + owoce	0	0	0	0	0

*posiłki racjonalne

Suma posiłków w ciągu tygodnia: 35

% posiłków racjonalnych w ciągu tygodniu: 94.3

4. Dyskusja

Nieswoiste choroby zapalne jelit mogą powodować problemy żywieniowe, które oddziałują na zdrowie pacjenta, stan odżywienia oraz jakość życia. U 20-85% chorych występują niedobory żywieniowe, a w szczególności niedożywienie białkowo-energetyczne (Lucendo i De Rezende 2009). Żywnienie odgrywa istotną rolę w rozwoju, leczeniu oraz zapobieganiu chorobie Leśniowskiego-Crohna. Odpowiednio przygotowana dieta stanowi jeden z elementów postępowania terapeutycznego, dlatego powinno się ją dostosować do stanu klinicznego pacjenta oraz aktywności choroby (Wawryniuk i in. 2017).

Wyniki badań ankietowych przeprowadzonych przez Prince i in. (2011) wykazały, że blisko 62% pacjentów z chorobą Leśniowskiego-Crohna dostrzega istotny wpływ żywności i żywienia na przebieg schorzenia. Około 94% chorych zgłaszało problem z utrzymaniem prawidłowej masy ciała, a 62% przeszło konsultację dietetyczną, podczas której przygotowano dla nich indywidualne zalecenia żywieniowe. W badaniach zrealizowanych przez Gacek i in. (2017) odnotowano, że 60% chorych uważa swój poziom wiedzy na temat diety w nieswoistych chorobach zapalnych jelit za wystarczający, natomiast 12% określiło go jako wysoki. Prawie wszyscy respondenci (96%) wskazali, że w okresie zaostrzenia choroby należy stosować dietę lekkostrawną, a około połowa posiadała wiedzę o konieczności ograniczenia spożycia błonnika pokarmowego. Jedynie 4,5% badanych wskazało, że żywienie nie ma wpływu na przebieg schorzenia, jeżeli pacjent przyjmuje zalecane przez lekarza leki.

Według najnowszych wytycznych Europejskiego Towarzystwa Żywienia Pozajelitowego i Dojelitowego (ESPEN) dotyczących żywienia klinicznego w chorobach zapalnych jelit, w okresie remisji nie należy przestrzegać żadnej określonej diety. Jednakże u chorych często obserwuje się indywidualne nietolerancje pokarmowe. Źle tolerowana jest przede wszystkim laktoza, produkty bogate w błonnik oraz smażone potrawy (Forbes i in. 2017). W doświadczeniu Cohen i in. (2013) pacjenci częściej wskazywali, że jogurt, ryż biały i banany powodują złagodzenie objawów, natomiast produkty wysokobłonnikowe, owoce, niektóre warzywa, czerwone mięso, pikantne oraz tłuste potrawy, napoje gazowane czy alkohol przyczyniają się do ich zaostrzenia.

Dieta z wysoką zawartością błonnika pokarmowego nie jest zalecana w utrzymaniu remisji choroby. Ponadto u pacjentów często występuje wtórny niedobór laktazy, wobec czego uzasadnione jest ograniczenie spożycia produktów bogatych w laktozę. Na ogół bardziej akceptowalne są przetwory mleczne, takie jak jogurt, kefir oraz sery twarogowe, gdyż charakteryzują się one mniejszą zawartością laktozy niż mleko słodkie. Pacjenci mogą również zmniejszyć nietolerancję tego disacharydu poprzez przyjmowanie preparatów laktazy (Kargulewicz i Ignys 2008).

Vagianos i in. (2007) dostrzegli wśród pacjentów z nieswoistymi chorobami zapalnymi jelit dużą częstość występowania niedoborów witaminy E (63%), witaminy D (36%), witaminy A (26%), kwasu foliowego (19%), wapnia (23%) i żelaza (13%). Ponadto u 18,4% chorych odnotowano niewystarczający poziom witaminy B₁₂ w surowicy krwi. W badaniach przeprowadzonych przez Aghdassi i in. (2007) zaobserwowano, że podaż energii i białka w diecie chorych w okresie remisji mieści się w zalecanych zakresach norm. Z kolei spożycie węglowodanów, tłuszczów ogółem oraz nasyconych kwasów tłuszczowych przekracza przyjęte zalecenia. Stwierdzono również deficyt wapnia, kwasu foliowego oraz witaminy C i E.

Do niedoboru wapnia w dużej mierze przyczynia się unikanie produktów mlecznych z powodu nietolerancji laktozy. Badania zrealizowane przez Viernia i in. (2014) wykazały niedostateczne spożycie tego składnika u jednej trzeciej pacjentów ze schorzeniami zapalnymi jelit. Utrata magnezu najczęściej następuje na skutek unikania jedzenia, przewlekłych biegunek, chronicznego stanu zapalnego, obecności przetok oraz zespołu złego wchłaniania. Hipomagnezemia może przyczyniać się do zwiększenia aktywności czynników prozapalnych, co prowadzi do nasilenia objawów. Filippi i in. (2006) zauważyli, że kobiety cierpiące na chorobę Leśniowskiego-Crohna przyjmowały z dietą mniejszą ilość magnezu w porównaniu z grupą kontrolną.

5. Podsumowanie i wnioski

Jadłospis skomponowano w oparciu o zalecenia żywieniowe dla pacjentów z chorobą Leśniowskiego-Crohna w okresie remisji. Na podstawie wyników oceny tygodniowego jadłospisu

w odniesieniu do testu Bielińskiej z modyfikacją Kuleszy można stwierdzić, że został on opracowany prawidłowo, gdyż większość posiłków uznano za racjonalne. Zawierają one węglowodany i tłuszcze jako źródła energii, białko pochodzenia zwierzęcego i/lub mleko bądź też produkty mleczne, a także warzywa i owoce. Tylko dwa posiłki (podwieczorek z dnia piątego oraz siódmego) nie spełniały kryteriów racjonalnego posiłku ponieważ zostały przygotowane na bazie napoju roślinnego (nie występują w nich produkty będące źródłem białka zwierzęcego oraz nie zawierają mleka lub produktów mlecznych). Do jakościowej oceny jadłospisu nie wykorzystano punktowej oceny według Bielińskiej z uwagi na zalecenia żywieniowe w omawianej jednostce chorobowej. Pomimo tego, iż pacjentka obecnie znajduje się w okresie remisji, należy z jej diety wykluczyć lub ograniczyć niektóre produkty oraz potrawy. Wśród nich wymienia się m.in. produkty bogate w błonnik pokarmowy (przede wszystkim produkty zbożowe pełnoziarniste) oraz laktozę, niektóre owoce i warzywa, jak również przygotowane na tej bazie surówki.

6. Literatura

- Aghdassi E, Wendland B, Stapleton M, et al. (2007) Adequacy of Nutritional Intake in Canadian Population of Patients with Crohn's Disease. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics* 107 (9): 1575-1580.
- Baczewska-Mazurkiewicz D, Rydzewska G (2011) Problemy żywieniowe pacjentów z nieswoistymi chorobami zapalnymi jelit. *Przegląd Gastroenterologiczny* 6(2): 69-77.
- Bartnik W (2007) Wytyczne postępowania w nieswoistych chorobach zapalnych jelit. *Przegląd Gastroenterologiczny* 2(5): 215-229.
- Ciborowska H, Rudnicka A (2015) *Dietetyka. Żywienie zdrowego i chorego człowieka*. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa.
- Ciesielczyk K, Thor PJ (2013) Zaburzenia kontroli nerwowego przewodu pokarmowego i ból trzewny w nieswoistych chorobach zapalnych jelit. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 67: 304-314.
- Cohen A, Lee D, Long M, et al. (2013) Dietary Patterns and Self-Reported Associations of Diet with Symptoms of Inflammatory Bowel Disease. *Digestive Diseases and Sciences* 58(5): 1322-1328.
- Filippi J, Al-Jaouni R, Wiroth JB, et al. (2006) Nutritional Deficiencies in Patients With Crohn's Disease in Remission. *Inflammatory Bowel Disease* 12(3): 185-191.
- Forbes A, Escher J, Hébuterne X, et al. (2017) ESPEN guideline: Clinical nutrition in inflammatory bowel disease. *Clinical Nutrition* 36: 321-347.
- Gacek L, Bączyk G, Skokowska B, i in. (2017) Poziom wiedzy chorych z nieswoistymi zapaleniami jelit o chorobie i stylu życia. *Pielęgniarstwo Polskie* 63(1): 20-27.
- Gawęcki J, Hryniewiecki L (2008) *Żywienie człowieka. Podstawy nauki o żywieniu*. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Hebзда A., Szczeblowska D., Serwin D, i in. (2011) Choroba Leśniowskiego Crohna – diagnostyka i leczenie. *Pediatrics i Medycyna Rodzinna* 2(7): 98-103.
- Jarosz M (2010) *Praktyczny podręcznik dietetyki*. Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa.
- Kargulewicz A, Ignys I (2008) Problem niedożywienia oraz postępowanie dietetyczne udzieci z chorobą Leśniowskiego-Crohna. *Nowiny Lekarskie* 77(5): 362-366.
- Lucendo AJ, De Rezende LC (2009) Importance of nutrition in inflammatory bowel disease. *World Journal of Gastroenterology* 15(17): 2081-2088.
- Prince A, Whelan K, Moosa A, et al. (2011) Nutritional problems in inflammatory bowel disease: The patient perspective. *Journal of Crohn's and Colitis* 5(5): 443-450.
- Vagianos K, Bector S, McConnell J, et al. (2007) Nutrition Assessment of Patients With Inflammatory Bowel Disease. *Journal of Parenteral & Enteral Nutrition* 31(4): 311-319.
- Vernia P, Loizos P, Di Giuseppantonio I, et al. (2014) Dietary calcium intake in patients with inflammatory bowel disease. *Journal of Crohn's and Colitis* 8(4): 312-317.
- Wawryniuk A, Rybak M, Szwałkosz K, i in. (2017) Crohn's disease being caused by chronic inflammation of the digestive tract. *Journal of Education, Health and Sport* 7(8): 80-98.
- Width M, Reinhard T (2009) *Dietetyka kliniczna*. Edra Urban & Partner, Wrocław.

3. Wpływ diety ketogenicznej na leczenie insulinooporności – opis przypadku

Effect of ketogenic diet on treatment of insulin resistance – case report

Dylał Agnieszka⁽¹⁾, Wittenbeck Kinga⁽¹⁾, Sularz Olga⁽¹⁾, Doniec Joanna⁽²⁾, Skoczylas Joanna⁽¹⁾, Koronowicz Aneta⁽¹⁾

⁽¹⁾Katedra Żywienia Człowieka i Dietetyki, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

⁽²⁾Katedra Technologii Produktów Roślinnych i Higieny Żywienia, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Aneta Koronowicz, prof. UR

Dylał Agnieszka: agnieszka.dylag@poczta.fm

Słowa kluczowe: dieta wysokotłuszczowa, ketoza, leczenie żywieniowe

Streszczenie

Insulinooporność jest obecnie jednym z najczęściej diagnozowanych zaburzeń homeostazy glukozy. Schorzenie to w znacznym stopniu wpływa na jakość życia chorujących, dlatego poszukiwane są alternatywne metody leczenia. Do takich metod zalicza się dietę ketogeniczną.

Celem pracy była ocena wpływu diety ketogenicznej na parametry zdrowotne pacjentki chorującej na insulinooporność. Zaproponowano schemat żywieniowy w postaci przykładowego jadłospisu.

Opisany model diety okazał się skutecznym sposobem na poprawę samopoczucia oraz jakości życia pacjentki, co potwierdza, że prawidłowo zbilansowana dieta ketogeniczna może stanowić alternatywę leczenia insulinooporności. Należy jednak mieć na uwadze, iż dieta ketogeniczna jest metodą leczenia żywieniowego i nie powinno się jej rozpatrywać w kategoriach diety standardowej.

1. Wstęp i cel pracy

Insulinooporność jest obecnie jednym z najczęściej diagnozowanych zaburzeń homeostazy glukozy. Objawia się zmniejszoną wrażliwością tkanek na insulinę, pomimo jej podwyższonego lub właściwego stężenia we krwi.

Wyróżnia się trzy rodzaje zaburzeń prowadzących do oporności na działanie insuliny, tj. insulinooporność przedreceptorową, receptorową oraz poreceptorową. Typowa postać insulinooporności przedreceptorowej to tzw. zespół mutowanej insuliny, w którym stwierdza się uwarunkowaną genetycznie nieprawidłową budowę cząsteczki insuliny (Nanjo i in. 1987). W zespole tym obserwuje się właściwą reakcję komórek na insulinę egzogenną, natomiast wobec endogennej, zmienionej cząsteczki tego hormonu występuje insulinooporność (Głuszek i Boruckowska 2000). Obniżona wrażliwość na insulinę może również pojawić się jako następstwo zaburzeń strukturalnych bądź czynnościowych receptora insulinowego, którego gen znajduje się na krótszym ramieniu chromosomu 19. Receptory te zlokalizowane są na powierzchni wszystkich komórek ustroju, a największa ich ilość umiejscowiona jest na powierzchni adipocytów i hepatocytów.

Kluczową rolę w powstawaniu insulinooporności odgrywiają wolne kwasy tłuszczowe (*free fat acids*; FFA), które będąc w nadmiarze hamują pobieranie glukozy z krwi. Nieustanna ekspozycja wysepek β trzustki na wysokie stężenia wolnych kwasów tłuszczowych prowadzi do obniżenia wrażliwości, a w konsekwencji zablokowania wytwarzania insuliny (Boden 2002). Wysokie stężenie FFA charakteryzuje osoby otyłe i bezpośrednio przyczynia się do rozwoju cukrzycy typu II.

Lekarze podkreślają szczególnie wpływ otyłości brzusznej, zaburzającej funkcjonowanie receptorów z rodziny PPAR (Fuentes i in. 2010) oraz skutkującej perforacją w wydzielaniu adipokin, w tym leptyny czy adiponektyny (Shoelson i in. 2007).

Insulinooporność w znacznym stopniu wpływa na jakość życia chorujących, dlatego poszukiwane są alternatywne metody leczenia. Do takich metod zalicza się dietę ketogeniczną. Jej klasyczna forma opiera się na zaproponowanych w 1921 roku przez dr. R. M. Wilder'a założeniach,

według których dieta ta jest niskowęglowodanowa, normobiałkowa oraz wysokotłuszczowa. Ustalono, że dostarcza ona 75% energii w odniesieniu do norm, z czego 75% do 90% pochodzi z tłuszczów, a pozostałe 10-25% z białek i węglowodanów (Stafstrom i Bough 2003). Zważywszy na specyficzny charakter diety ketogenicznej, należy pamiętać o odpowiednim jej zbilansowaniu. Ponadto musi być prowadzona pod bacznym nadzorem lekarzy, a jej skład powinno się dostosować do wieku, płci, masy ciała, aktywności fizycznej oraz schorzeń współistniejących.

Dieta ketogeniczna może być wykorzystywana jako wsparcie dla zastosowanej farmakologii lub jako niezależna terapia dietetyczna. Bazuje ona na produktach mało przetworzonych, w szczególności tłustych mięsach, rybach, jajach i serach. Niewielka ilość węglowodanów powinna być prawie w całości pokrywana przez warzywa o małej ich zawartości, natomiast tłuszcze powinny pochodzić z produktów zarówno zwierzęcych, jak i roślinnych (Stafstrom i Rho 2004).

Istnieją odmiany diety ketogenicznej, które są mniej rygorystyczne, a w efekcie bardziej akceptowalne przez pacjentów. Należą do nich: dieta ketogeniczna MAD (tzw. modyfikowana dieta Atkinsa), dieta ketogeniczna MCT (oparta na średniołańcuchowych kwasach tłuszczowych) oraz dieta ketogeniczna LGIT (z niskim indeksem glikemicznym). W pierwszej z nich stosuje się proporcje 1:1-2:1 (tłuszcze:węglowodany i białka), a tłuszcze dostarczają 60-70% energii. U osób dorosłych dobową podaż węglowodanów zostaje ograniczona do 15 g/dzień, jednakże po pierwszym miesiącu leczenia można ją zwiększyć do 20-30 g/dzień (Kossoff i Dorward 2008). W porównaniu do klasycznej formy tej diety pokrywa ona 100% zapotrzebowania na energię. Nie praktykuje się tutaj początkowej fazy głodzenia, niezbędnej do wprowadzenia pacjenta w stan ketozy, co ma miejsce w klasycznej postaci diety ketogenicznej. W diecie MCT spożycie średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych kształtuje się w zakresie 30-60% i podobnie jak dieta MAD dostarcza ona 100% energii w odniesieniu do norm. Natomiast w diecie LGIT tłuszcze stanowią 60% całkowitego zapotrzebowania energetycznego, a ilość dostarczonych węglowodanów, w porównaniu do pozostałych odmian tej diety wynosi nawet 40-60 g/dzień (Miranda i in. 2012).

W diecie ketogenicznej zdecydowana większość spożywanych produktów stanowi źródło tłuszczów oraz białek, natomiast znacznemu ograniczeniu podlegają źródła węglowodanów, do których należą m.in. warzywa, owoce, makarony, kasze, ryż bądź też pieczywo. Prowadzi to do zmniejszonej podaży wielu składników mineralnych, witamin i błonnika, a tym samym istnieje potrzeba ich suplementacji. Szczególnie istotną rolę odrywa suplementacja witaminy D oraz wapnia, w celu zapobiegania rozwojowi osteoporozy i osteomalacji. Ponadto zaleca się suplementację: cynku, magnezu, fosforu oraz selenu (Hartman i Vining 2007; Bergqvist i in. 2008).

Istnieje wiele teorii na temat mechanizmu działania diety wysokotłuszczowej, lecz ze względu na jego złożony charakter nie został on w pełni wyjaśniony. Niska podaż węglowodanów, przy równocześnie dużym spożyciu tłuszczów powoduje, że organizm zostaje wprowadzony w stan ketozy, występujący również podczas głodzenia organizmu. Tłuszcze stają się wówczas głównym źródłem energii. Powstające w wyniku ich przemiany, wolne kwasy tłuszczowe rozkładane są na drodze β -oksydacji w mitochondriach komórek wątrobowych. Następnie przekształcają się one w ciała ketonowe (kwas β -hydroksymasłowy, acetoocetan oraz aceton), które włączając się w cykl Krebsa uczestniczą w wytwarzaniu energii w komórkach (Beisswenger i in. 2005).

W przypadku chorób cywilizacyjnych uważa się, że dieta ketogeniczna zwiększa wrażliwość receptorów na insulinę, poprzez zmniejszenie podaży glukozy, co przyczynia się do poprawy wyników glukozy na czczo oraz hemoglobiny glikowanej (Boden i in. 2005). Przy insulinooporności, na drodze lipogenezy wątrobowej większa część węglowodanów zostaje przekształcona w triacyloglicerole, które odpowiadają za rozwój chorób sercowo-naczyniowych. W związku z tym, obniżenie spożycia węglowodanów do minimum, tak aby ich konwersja zachodziła w jak najmniejszym stopniu, wydaje się być uzasadnione (Gumbiner i in. 1996). Ponadto zastosowanie takiego modelu żywieniowego często pozwala na odstawienie leków (Feinman i in. 1991; Spreadbury i in. 2012; Gadgil i in. 2013) oraz powoduje szybką redukcję masy ciała w początkowych fazach diet redukcyjnych (Bistran i in. 1976; Dashti i in. 2006).

Wprawdzie dieta ketogeniczna to coraz częściej stosowane rozwiązanie w leczeniu insulinooporności, jednak należy mieć na uwadze, że stan wiedzy naukowej nie jest wystarczający do jej bezpiecznego stosowania, a w placówkach żywieniowych obserwuje się poważne błędy w jej

wdrażaniu. Polski rynek handlowy nie oferuje pełnego asortymentu produktów uzupełniających niedobory wynikające z zastosowania tej diety. Ponadto podkreśla się rolę edukacji żywieniowej, która przy stosowaniu diety ketogenicznej ma kluczowe znaczenie.

Celem pracy była ocena wpływu diety ketogenicznej na parametry zdrowotne pacjentki chorującej na insulinooporność. Zaproponowano schemat żywieniowy w postaci przykładowego jadłospisu.

2. Opis przypadku

We wrześniu 2014 roku pacjentka (lat 35) po raz pierwszy zmierzyła się z problemami zdrowotnymi. Zaszła wówczas w ciążę, a jej masa ciała przy wzroście 176 cm wynosiła 90 kg, co wskazuje na nadwagę. Przez okres ciąży masa ciała wzrastała i w 9. miesiącu pacjentka ważyła 119 kg. Jak sama referuje, stało się to wtedy bardzo uciążliwe, obciążenie organizmu poważnie wpłynęło na jej stan zdrowia i samopoczucie. Pojawiły się u niej bóle pleców, stawów, problemy ze snem, problemy trawienne, zgaga oraz zaparcia. Wynikiem nadwagi były również trudności w uzyskaniu znieczulenia miejscowego podczas porodu drogą cesarskiego cięcia. Po udanym porodzie pacjentka zaczęła zdrowo się odżywiać. Pozwoliło jej to na obniżenie masy ciała w ciągu około 7 miesięcy o 16 kilogramów.

Okres macierzyństwa nie wpłynął korzystnie na jej masę ciała, na przestrzeni 2 lat zwiększyła się ona ponownie. Wynikało to z podjadania i dojadania po dziecku oraz braku ruchu. Problemy zdrowotne, ciągłe zmęczenie, brak snu i stres spowodowały, że doznała bardzo silnego bólu migrenowego, co uniemożliwiło jej kontynuację karmienia piersią. W sierpniu 2017 roku masa ciała pacjentki kształtowała się na poziomie 112 kilogramów. Insulinooporność zdiagnozowano u niej na podstawie zleconych przez dietetyka badań. Rozpoczęła leczenie dietą ketogeniczną w listopadzie 2017 roku w jednym z centrów dietetyki w Polsce.

Ponadto na podstawie wywiadu rodzinnego odnotowano, że jest ona obciążona genetycznie, gdyż u jej ojca oraz babci rozpoznano cukrzycę, natomiast siostra i ciocia cierpią na niedoczynność tarczycy.

W celu zdiagnozowania pacjentki wykonano następujące badania:

- parametry ciała – masa ciała, wzrost, BMI (wskaźnik masy ciała),
- morfologia,
- trójglicerydy,
- cholesterol,
- żelazo,
- CRP (białko C-reaktywne) ilościowo,
- TSH (hormon tyreotropowy),
- FT3 (wolna trójjodotyronina),
- FT4 (wolna tyroksyna),
- witamina 25-(OH) D całkowita,
- doustny test tolerancji glukozy na czczo oraz po upływie 1 i 2 godzin.

W tabeli 1. przedstawiono wyniki badań odbiegających od normy

Tab. 1. Wyniki badań niemieszczących się w zakresie wartości referencyjnych.

Badanie	Wynik	Symbol	Wartość referencyjna	Jednostka
Parametry antropometryczne:				
Masa ciała	112.4	↑	57 – 77	kg
BMI	36.6	↑	18.5 – 24.9	kg m ⁻²
Morfologia:				
MPV (średnia objętość płytek krwi)	13.6	↑	7.0 – 12.0	fl

Żywność i żywienie

Badanie	Wynik	Symbol	Wartość referencyjna	Jednostka
Cholesterol HDL	1.59	↓	>1.7	mmol ⁻¹
CRP ilościowo	6.22	↑	0.0 – 5.0	mg l ⁻¹
FT4	0.76	↓	0.82 – 1.51	ngdl ⁻¹
Witamina 25-(OH) D całkowita	17.6	↓	30 – 100	ngml ⁻¹
Doustny test tolerancji glukozy – na czczo (75 g)	5.96	↑	3.9 – 5.5	mmol ⁻¹

Legenda:

- ↓ - zbyt niski wynik w porównaniu z zakresem wartości referencyjnych,
 - ↑ - zbyt wysoki wynik w porównaniu z zakresem wartości referencyjnych.
3. Schemat postępowania żywieniowego

Celem wyznaczenia dziennego zapotrzebowania energetycznego, obliczono podstawową, a następnie całkowitą przemianę materii (uwzględniając współczynnik aktywności fizycznej).

Podstawowa przemiana materii (PPM)

PPM wyliczono na podstawie wzoru Harrisa-Benedicta dla aktualnej masy ciała.

Dla kobiet:

$$\text{PPM [kcal]} = 655.1 + 9.563 W + 1.850 H - 4.676 A,$$

gdzie: W – masa ciała [kg]; H – wzrost [cm]; A – wiek [lata].

$$\text{PPM} = 655.1 + 9.563 \times 112.4 + 1.850 \times 176 - 4.676 \times 35;$$

$$\text{PPM} = 1891.9 \text{ kcal/dobę.}$$

Całkowita przemiana materii (CPM)

$$\text{CPM [kcal]} = \text{PPM} \times \text{PAL},$$

gdzie: PPM – podstawowa przemiana materii [kcal]; PAL – współczynnik aktywności fizycznej.

Przyjęto, że PAL = 1.4, gdyż pacjentka jest mało aktywna fizycznie.

$$\text{CPM} = 1891.9 \times 1.4 = 2648.7 \text{ kcal/dobę;}$$

$$\text{CPM} \approx 2650 \text{ kcal/dobę.}$$

Ze względu na otyłość pacjentki założono, że dzienny deficyt energetyczny będzie wynosił około 500 kcal, co w efekcie daje około 2150 kcal/dobę.

Podstawowe składniki odżywcze

Zalecany udział energii z poszczególnych makroskładników w diecie standardowej (Jarosz i in. 2017):

Węglowodany – 45-65%,

Tłuszcze – 20-35%,

Białko – 10-20%.

Proponowana ilość podstawowych składników pokarmowych i energii w modyfikowanej diecie Atkinsa:

Energia – 100% dziennego zapotrzebowania, tj. 2150 kcal/dobę;

Tłuszcze – około 70% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tj. 1505 kcal (~167 g/dobę);

Białko – około 26% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tj. 559 kcal (~140 g/dobę);

Węglowodany – około 4% dziennego zapotrzebowania energetycznego, tj. 86 kcal (~22 g/dobę).

W tabeli 2. zebrano wszystkie założenia diety pacjentki. Normy na błonnik, składniki mineralne, witaminy oraz wodę (na poziomie zalecanego spożycia lub wystarczającego spożycia) pochodzą z tabeli zbiorczych „Norm żywienia dla populacji Polski” (Jarosz i in. 2017).

Tab. 2. Tabela zbiorcza założeń diety pacjentki.

Zapotrzebowanie energetyczne	2150 kcal/dobę
Białko	140 g/d.
Tłuszcz	167 g/d.
Węglowodany	22 g/d.
Błonnik pokarmowy	25 g/d.
Wapń	1000 mg/osobę/dobę
Fosfor	700 mg/os./d.
Magnez	320 mg/os./d.
Żelazo	18 mg/os./d.
Cynk	8 mg/os./d.
Witamina D	15 µg/os./d.
Witamina B ₁₂	2.4 µg/os./d.
Ryboflawina	1.1 µg/os./d.
Woda	2000 ml/d.

W tabeli 3. przedstawiono przykładowy jadłospis dla pacjentki. Podczas projektowania diety zwrócono szczególną uwagę na to, aby posiłki były bogate w cynk, magnez, fosfor, wapń oraz witaminę D, gdyż u osób stosujących dietę ketogeniczną obserwuje się zmniejszoną podaż tych składników odżywczych.

Dla każdego dnia planu żywieniowego obliczono ilość dostarczonej energii, spożycie podstawowych składników odżywczych oraz wybranych związków mineralnych i witamin. Wyliczono wartość średnią oraz procent realizacji przyjętych założeń (Tab. 4 i 5). Przy bilansowaniu jadłospisu przyjęto granicę błędu +/- 10%

Tab. 3. Tygodniowy plan żywieniowy.

Dzień	Śniadanie	II śniadanie	Obiad	Kolacja
1	Jaja sadzone na boczku	Wiosenny twarożek	Pulpety wątróbkowe w sosie śmietanowo-pomidorowym	Sałatka z parmezanem, kurczakiem i oliwkami
2	Pasta jajeczna	Łosoś pieczony z pestkami dyni oraz nasionami słonecznika i sałata	Smażony ser z pieczarkami i ogórkami	Zupa ogórkowa na polędwicy wołowej
3	Omlet z makiem i orzechami laskowymi	Pasta z makreli	Roladki serowe z salami, papryką i rzodkiewką	Śledzie pod pierzynką
4	Jaja zapiekane w awokado z boczkiem	Stek wieprzowy z warzywami	Kotlety jajeczne z indykiem	Schab z sałatką z awokado i orzechów włoskich
5	Jaja sadzone na pomidorach	Pasta z tuńczyka	Dorsz w orzechowej panierce z pastą czosnkową	Krem cukiniowy z kurczakiem
6	Muffinki warzywno-jajeczne	Jajecznicza ze szczypiorkiem	Kotlety mielone	Naleśniki z łososiem i szpinakiem
7	Jaja sadzone na bekonie	Kiełbaski bawarskie z warzywami	Pieczony łosoś oraz sałatka z pomidorów, ogórków i rzodkiewki	Zapiekana cukinia

Tab. 4. Ilość dostarczonej energii oraz zawartość podstawowych składników pokarmowych i błonnika w tygodniowej diecie pacjentki

Dzień	Energia [kcal]	Białko [g]	Tłuszcz [g]	Węglowodany [g]	Błonnik pokarmowy [g]
1	2242.5	128.8	186.1	28.4	9.3
2	2094.0	150.6	158.3	24.3	8.5
3	2149.9	155.2	164.3	24.1	9.6
4	2154.5	151.2	166.8	23.8	9.2
5	2047.3	139.9	159.8	24.0	8.8
6	2144.9	155.1	165.0	20.2	6.8
7	2111.0	137.9	168.8	22.1	8.5
Wartość średnia (\bar{x})	2134.9	145.5	167.0	23.8	8.7
Założenie	2150.0	140.0	167.0	22.0	25.0
Procent realizacji założenia	99.3	103.9	100.0	108.3	34.7

Tab. 5. Zawartość wybranych składników mineralnych i witamin w tygodniowej diecie pacjentki.

Dzień	Wapń [mg]	Fosfor [mg]	Magnez [mg]	Żelazo [mg]	Cynk [mg]	Witamina D [µg]	Witamina B ₁₂ [µg]	Ryboflawina [mg]
1	1406.5	1836.7	524.2	23.2	12.1	5.9	19.0	4.6
2	1718.0	2282.5	577.1	19.3	18.8	11.1	12.4	2.9
3	1987.3	2801.3	578.5	21.0	18.6	24.9	25.7	4.3
4	1497.1	2259.4	527.6	18.1	18.2	10.2	11.8	4.0
5	1003.5	1883.8	585.2	18.2	13.7	13.7	11.0	3.2
6	1011.4	2087.3	573.6	18.8	17.5	23.5	12.7	3.5
7	1575.7	2006.9	551.0	11.6	13.1	28.8	15.2	1.7
Wartość średnia (\bar{x})	1457.1	2165.4	559.6	18.6	16.0	16.9	15.4	3.5
Założenie	1000.0	700.0	320.0	18.0	8.0	15.0	2.4	1.1
Procent realizacji założenia	145.7	309.3	174.9	103.4	200.2	112.5	641.7	314.3

3. Podsumowanie

Realizacja założeń na energię oraz podstawowe makroskładniki pokarmowe tj. białka, tłuszcze i węglowodany kształtowała się na poziomie 100% lub oscylowała w granicy błędu (wyniosła odpowiednio 99,3% oraz 103,9%; 100% i 108,3%). Świadczy to o prawidłowym zbilansowaniu jadłospisu pod względem zapotrzebowania energetycznego, jak również zawartości makroskładników.

Mimo tego, że podaż wapnia oraz witaminy D była niewiele wyższa w stosunku do norm (145,7% i 112,5%), to jednak przekroczyła granicę błędu. Jak już wcześniej wspomniano u osób stosujących dietę ketogeniczną bardzo często stwierdza się niedobory tych związków. Odpowiadają one przede wszystkim za utrzymanie prawidłowej struktury oraz czynności metabolicznej tkanki kostnej. Ponadto niedobór witaminy D odgrywa istotną rolę w rozwoju insulinooporności, gdyż może znacząco wpływać na działanie insuliny.

W zastosowanej diecie zawartość fosforu, magnezu, cynku, witaminy B₁₂ oraz ryboflawiny niejednokrotnie znacznie przekroczyła poziom zalecany przez Instytut Żywności i Żywienia (309,3%; 174,9%; 200,2%; 641,7% i 314,3%), natomiast ilość żelaza mieściła się w granicach normy (103,4%). Jedynym niedoborowym składnikiem okazał się błonnik, co spowodowane było ograniczonym spożyciem produktów węglowodanowych. Większość obecnego w diecie błonnika pochodziła z warzyw, które równocześnie musiały charakteryzować się niewielką zawartością węglowodanów. Wobec tego jego główne źródło stanowiła sałata, cukinia, pomidory oraz ogórki. Jednakże ilość warzyw wprowadzonych do diety, w związku z jej założeniami, w niewystarczającym stopniu spełniła normę na błonnik. Średnia ilość tego składnika w tygodniowej diecie wyniosła 8,7 g, czyli zaledwie około 35% zalecanej normy. Prawidłowe zbilansowanie wyżej omawianych składników odżywczych jest trudne ze względu na niestandardowy charakter diety.

Ponadto należy mieć na uwadze, iż dieta ketogeniczna to metoda leczenia żywieniowego i nie powinno się jej rozpatrywać w kategoriach diety standardowej.

4. Wnioski

- Opisany model diety okazał się skutecznym sposobem na poprawę samopoczucia oraz jakości życia pacjentki, co potwierdza, że prawidłowo zbilansowana dieta ketogeniczna może stanowić alternatywę leczenia insulinooporności.

- W zaproponowanym planie żywieniowym podaż niektórych związków mineralnych oraz witamin przekraczała poziom rekomendowany przez IŻŻ, natomiast ilość błonnika była zbyt niska, co wskazuje, że stosowanie diety ketogenicznej wymaga ścisłej współpracy z wykwalifikowanym dietetykiem oraz kontroli lekarskiej.

5. Literatura

- Beisswenger BG, Delucia EM, Lapoint N, et al. (2005) Ketosis leads to increased methylglyoxal production on the Atkins diet. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1043(1): 201-210.
- Bergqvist AC, Schall JI, Stallings VA, et al. (2008) Progressive bone mineral content loss in children with intractable epilepsy treated with the ketogenic diet. *The American journal of clinical nutrition* 88(6): 1678-1684.
- Bistrián BR, Blackburn GL, Flatt JP, et al. (1976) Nitrogen metabolism and insulin requirements in obese diabetic adults on a protein-sparing modified fast. *Diabetes* 25(6): 494-504.
- Boden G (2002) Interaction between free fatty acids and glucose metabolism. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 5 (5): 545-549.
- Boden G, Sargrad K, Homko C, et al. (2005) Effect of a low-carbohydrate diet on appetite, blood glucose levels, and insulin resistance in obese patients with type 2 diabetes. *Annals of internal medicine* 142(6): 403-411.
- Dashti HM, Al-Zaid NS, Mathew TC, et al. (2006) Long term effects of ketogenic diet in obese subjects with high cholesterol level. *Molecular and cellular biochemistry* 286(1-2): 1-9.
- Feinman RD, Pogozelski WK, Astrup A, et al. (2015) Dietary carbohydrate restriction as the first approach in diabetes management: critical review and evidence base. *Nutrition* 31(1): 1-13.
- Fuentes L, Rószler T, Ricote M (2010) Inflammatory mediators and insulin resistance in obesity: role of nuclear receptor signaling in macrophages. *Mediators of Inflammation*: 219583.
- Gadgil MD, Appel LJ, Yeung E, et al. (2013) The effects of carbohydrate, unsaturated fat, and protein intake on measures of insulin sensitivity: results from the OmniHeart trial. *Diabetes Care* 36(5): 1132-1137.
- Głuszek J, Boruckowska A (2000) Insulinooporność i metody jej rozpoznawania u chorych z pierwotnym nadciśnieniem tętniczym. *Nadciśnienie Tętnicze* 3(4): 245-250.
- Gumbiner B, Wendel JA, McDermott MP (1996) Effects of diet composition and ketosis on glycemia during very-low-energy-diet therapy in obese patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus. *The American journal of clinical nutrition* 63(1): 110-115.
- Hartman AL, Vining EP (2007) Clinical aspects of the ketogenic diet. *Epilepsia*, 48(1): 31-42.
- Jarosz M, Rychlik E, Stoś K, i in. (2017) Normy żywienia dla populacji Polski. Instytut Żywności i Żywienia.
- Kossoff EH, Dorward JL (2008) The modified Atkins diet. *Epilepsia* 49(s8): 37-41.
- Miranda MJ, Turner Z, Magrath G (2012) Alternative diets to the classical ketogenic diet – Can we be more liberal? *Epilepsy research* 100(3): 278-285.
- Nanjo K, Miyano M, Kondo M, et al. (1987) Insulin Wakayama: familial mutant insulin syndrome in Japan. *Diabetologia* 30: 87-92.
- Shoelson SE, Herrero L, Naaz A (2007) Obesity, inflammation, and insulin resistance. *Gastroenterology* 132(6): 2169-2180.
- Spreadbury I (2012) Comparison with ancestral diets suggests dense acellular carbohydrates promote an inflammatory microbiota, and may be the primary dietary cause of leptin resistance and obesity. *Diabetes, metabolic syndrome and obesity: targets and therapy* 5: 175-189.
- Stafstrom CE, Bough KJ (2003) The ketogenic diet for the treatment of epilepsy: a challenge for nutritional neuroscientists. *Nutritional neuroscience* 6(2): 67-79.
- Stafstrom CE, Rho JM (2004) *Epilepsy and the ketogenic diet*. Springer Science & Business Media.

4. Farmakologiczny potencjał składników bioaktywnych topinamburu

Pharmacological potential of bioactive ingredients of topinambour

Ilona Gęsikowska^(1,2,3), Ewa Kurzeja⁽⁴⁾, Damian Pielorz^(1,2), Kacper Grzywnowicz^(1,2),
Jacek Drobniak⁽⁵⁾, Grażyna Janikowska⁽⁴⁾

⁽¹⁾Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie Botaniki Farmaceutycznej i Zielarstwa, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

⁽²⁾Młoda Farmacja Sosnowiec,

⁽³⁾Studenckie Koło Naukowe przy Zakładzie Biologii Molekularnej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

⁽⁴⁾Zakład Chemii Analitycznej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

⁽⁵⁾Katedra i Zakład Botaniki Farmaceutycznej i Zielarstwa, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Gęsikowska Ilona: ilonagesikowska@gmail.com

Słowa kluczowe: słonecznik bulwiasty, warzywa lecznicze, profilaktyka.

Streszczenie

Wzrost zainteresowania zdrową żywnością obserwuje się nieustannie od kilkadziesiąt lat. W licznych pracach naukowych wykazano prozdrowotne właściwości produktów roślinnych zwłaszcza ziół, przypraw, warzyw i owoców oraz produktów zbożowych. Produkty te są bogatym źródłem cennych składników bioaktywnych, takich jak błonnik, przeciwutleniacze, witaminy, składniki mineralne, kwasy tłuszczowe omega-3, fitosterole. Związki bioaktywne wpływając na fizjologię organizmu mogą stymulować różne przemiany metaboliczne zachodzące w organizmie i wspierać zdrowie człowieka. Badania epidemiologiczne wykazały, że zbilansowana dieta wiąże się z mniejszą częstością występowania wielu chorób, jak np. choroby sercowo-naczyniowe, metaboliczne, neurodegeneracyjne lub nowotworowe. Oprócz warzyw powszechnie znanych i spożywanych w Polsce są takie, które niedawno pojawiły się w jadłospisach i dla wielu konsumentów nadal brzmią egzotycznie, tak jak topinambur. Wykorzystywanym surowcem jest bulwa (łac. Bulbus). Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) inaczej słonecznik bulwiasty jest bogaty w substancje farmakologicznie czynne działające na mięsień sercowy, układ trawienny i nerwowy. Dzięki dużej zawartości inuliny (wielocukier o niskiej kaloryczności oraz doskonały prebiotyk, stymulujący rozwój dobrej flory bakteryjnej jelit), która wspomaga leczenie cukrzycy typu 2 oraz odpowiada za zmniejszenie poziomu insulinooporności.

1. Wprowadzenie

Obserwując rynek żywnościowy coraz częściej sięgamy po warzywa i owoce oraz rośliny wykorzystywane w kuchniach świata zgodnie z wytycznymi piramidy żywnościowej. Ponadto, ostatnimi czasy obserwuje się renesans medycyny niekonwencjonalnej, coraz więcej osób stosuje metody leczenia medycyny naturalnej, takie jak ziołolecznictwo czy aromaterapia. Ponadto, profilaktycznie stara się zapobiegać chorobom za pomocą zdrowej żywności czy stosowania przypraw o właściwościach leczniczych. Zwiększa się także grono osób stosujących te zalecenia. Dzięki globalizacji informacji przekazywanych w internecie zwraca się uwagę na warzywa mało znane lub zapomniane. W obecnym przeglądzie literaturowym dokładniej przyjrzymy się roślinie z rodziny *Asteraceae*, jednej z najliczniejszych rodzin, do której należy ponad 23,5 tysiąca gatunków. Wiele z nich wykazuje działanie lecznicze, znajdując swoje miejsce w wielu pozycjach naukowych i podręcznikach akademickich na całym świecie. Jedną z takich roślin, zapomnianych i odkrywanych na nowo jest słonecznik bulwiasty, czyli topinambur.

2. Charakterystyka rośliny - Słonecznik bulwiasty, (łac. *Helianthus tuberosus* L)

Słonecznik bulwiasty, (łac. *Helianthus tuberosus* L) inaczej nazywany topinamburem to roślina pochodząca z Ameryki Południowej, skąd przywędrowała do innych zakątków świata zostając rozpowszechniona jako roślina jadalna. Do Europy, a ściślej do Francji roślinę przywiózł Samuel de Champlain na początku XVII wieku. Obecnie roślina jest już rozpowszechniona na całym świecie. Jednak na obszarach poza zasięgiem pierwotnym uznawana jest za roślinę inwazyjną i stanowi zagrożenie dla rodzimych gatunków flory. Topinambur jest niewymagający i łatwy w uprawie, co stanowi możliwość szybkiego wzrostu i rozwoju, jedynym zagrożeniem dla innych roślin jest jej ekspansywność - zasiedlając nowe tereny wypiera inne gatunki. Ze względu na swój bogaty skład miko- oraz makroelementów jest używana w rolnictwie, przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, kosmetycznym oraz w wielu kuchniach. Najcenniejszym surowcem jaki z niej pozyskujemy są bulwy. W związku z małymi wymaganiami tej rośliny, w szybkim tempie zaczęła się ona rozprzestrzeniać stając się obecnie gatunkiem inwazyjnym (Tymoszczyk i in. 2017). Słonecznik bulwiasty jest jedną z niewielu roślin, która zawiera dużą ilość potasu, szczególnie pomocna w leczeniu nadciśnienia tętniczego. Wspiera pracę układu nerwowego, dzięki dużej zawartości magnezu i niacyny (witaminy B₃). Również skutecznie zmniejsza poziom stresu oraz poprawia naszą koncentrację (tak jak magnez zawarty w gorzkiej czekoladzie). Działanie lecznicze słonecznika bulwiastego nie ogranicza się wyłącznie do jego spożywania w leczeniu oparzeń, owrzodzeń czy zmian łuszczykowych, lecz bardzo pomocny jest również sok z topinamburu. Z grupy węglowodanów znajdziemy w nim również takie substancje jak: glukozę, fruktozę, sacharozę, maltozę lub błonnik pokarmowy, na który składają się ligniny, celulozy, hemicelulozy oraz pektyny. Białko pochodzące z topinamburu zawiera prawie wszystkie aminokwasy egzogenne (nie zawiera fenyloalaniny co wykorzystywane jest przez osoby chorujące na fenyloketonurię) włącznie z metioniną, która odpowiada za regulację przemiany materii, natomiast wśród związków mineralnych znajdziemy witaminę C. Wśród innych klas związków chemicznych, w omawianej roślinie znaleziono związki fenolowe, które posiadają właściwości przeciwutleniające (Florkiewicz i in. 2007). Oprócz wyżej wymienionych związków, bulwy słonecznika zawierają substancje czynne biologicznie takie jak: lecytyna, cholina, kumaryna czy fitosterole, a oprócz tego barwniki organiczne należące do grupy karotenów i ksantofili, a także flawonoidy, saponiny, cholinę oraz goryczkę (Różański 2012).

Słonecznik bulwiasty jest niezwykle pożądaną rośliną ze względu na znaczące ilości błonnika i fruktanów, w głównej mierze inuliny, która ma prawdopodobnie największe znaczenie w leczeniu. Błonnik zawarty w topinamburze wspomaga kuracje odchudzające, dając uczucie wypełnienia żołądka przy zachowaniu bardzo niskiego indeksu glikemicznego. Zawarta w topinamburze inulina wpływa na zmniejszenie poziomu LDL-u we krwi, co przeciwdziała powstawaniu miażdżycy i obniża ryzyko wystąpienia zawału. Inulina zawarta w roślinach to związek z grupy polifruktanów, naturalnie w nich występujący. Organizm człowieka nie trawi i nie wchłania tego oligosacharydu, ponieważ jest nierozpuszczalny w temperaturze pokojowej (rozpuszczalność wynosi 250 mg/ml w temperaturze 80°C), jedynie drobnoustroje przewodu pokarmowego zwierząt roślinożernych i człowieka mają zdolność trawienia inuliny, a rośliny gromadzące ten cukier posiadają enzymy rozkładające ten związek, co czyni go substancją pożądaną przez osoby chorujące na cukrzycę. Proces fermentacji inuliny prowadzi do zwiększenia ilości krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych i kwasu mlekowego co powoduje spadek wartości pH w okrężnicy wpływając na wzrost niektórych kultur bakterii, a także na przyswajanie niektórych mikroelementów przez aktywację wymiany jonów wodorowych na wapniowe. Inulina nie jest syntezowana ani wchłaniana w żywych organizmach, natomiast bez problemu przechodzi do krwi i moczu występując tam w postaci niezmienionej, co zapewnia jej możliwość zastosowania jako środek diagnostyczny. Z tego też powodu inulinę stosowano w teście klirensu inuliny określającym klirens nerkowy. Obecnie test ten został zastąpiony testem klirensu kreatyniny.

3. Potencjał farmakologiczny topinamburu

Wielu naukowców prowadziło badania nad właściwościami fruktanów, w tym inuliny zawartej w topinamburze i ich wpływem na organizm człowieka. Otrzymane wyniki potwierdziły, że

fruktany mają pozytywny wpływ na mikroflorę bakteryjną przewodu pokarmowego. Ta klasa związków nie jest trawiona przez człowieka, więc w jelicie grubym zaczyna fermentować co bezpośrednio wpływa na wzrost rozwoju bakterii pozytywnie działających w ludzkim przewodzie pokarmowym, ale również hamuje mnożenie się drobnoustrojów potencjalnie patogennych (Schaafsma i Slavin 2015).

W 2016 roku przeprowadzono porównanie prebiotycznego wpływu topinamburu w warunkach *in vitro* na rozwój *Bifidobacterium bifidum* i *Escherichia coli*. Stwierdzono, że wzrost *Bifidobacterium bifidum* uległ poprawie w porównaniu z próbą kontrolną. Porównując wzrost populacji *Bifidobacterium* w obecności polifruktanów oraz inuliny zaobserwowano wzrost jedynie w obecności polifruktanów, a spadek pH w obu przypadkach. Natomiast badania na *Escherichia coli* wskazały, że polifruktany również stymulują wzrost populacji i co ciekawsze, wzrost tych bakterii jest zależny od stopnia polimeryzacji łańcuchów fruktanowych. Oznacza to, że fruktooligosacharydy są w stanie zwiększyć stabilność probiotyków i produkcję kwasów (Mansouri i in. 2016).

Gdy potwierdzano właściwości prebiotyczne inuliny pochodzącej z topinamburu, porównano jej właściwości z inuliną pozyskaną z cykorii skupiając się na zależności aktywności prebiotycznej od czasu przechowywania bulw. Wraz z upływem czasu następował spadek zawartości inuliny w roślinach, jednak okazało się, że po okresie 4 miesięcy przechowywania roślin na zimno, inulina pochodząca z bulw topinamburu miała wyższą wartość aktywności prebiotycznej niż komercyjna inulina pochodząca z korzeni cykorii. Zgodnie z tym można uznać, że inulina pozyskiwana ze słonecznika może być używana jako prebiotyczny dodatek do żywności, który może zastąpić inulinę pochodzącą z korzeni cykorii (Rubel i in. 2014).

Wpływ inuliny z bulw topinamburu nie kończy się tylko na stymulujących właściwościach rozwoju mikroflory jelitowej, ale również ma pozytywny wpływ na odporność, metabolity krwi i morfometrię jelitową. Podczas badań na szczurach po włączeniu do diety sproszkowanych bulw słonecznika zaobserwowano wzrost tkanki łątnicy i okrężnicy. Wśród substancji, których stężenie pozytywnie się zmieniło we krwi pod wpływem inuliny były: hemoglobina, glukoza, mocznik i wapń (Samal i in. 2015).

Inulina ma znaczący wpływ na wzrost stężenia wapnia w płynach ustrojowych oraz hemoglobiny w układzie krwionośnym, co może sugerować, że fruktany mają również pozytywny wpływ na wchłanianie żelaza. Jak już wyżej wspomniano inulina wpływa na spadek pH (Mansouri i in. 2016), spowodowany jej fermentacją przez bakterie jelitowe, których produktami są krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe, takie jak octowy, propionowy i masłowy, które są głównymi anionami usuwanymi z organizmu co wpływa na przemieszczanie się wody i elektrolitów w okrężnicy. Wzrost stężenia wapnia w okrężnicy dostrzeżono również w obecności anionów pochodzących z dysocjacji wyżej wymienionych kwasów tłuszczowych w komórkach nabłonka okrężnicy, ponieważ protony pochodzące z dysocjacji zostają zamienione na jony wapnia za pomocą wymiennika wodorowo-wapniowego, wpływając na wzrost wchłaniania wapnia o 28% , a magnezu o 41% (Dolińska i in. 2009). Ponadto, inulina wpływa znacząco na wzrost przyswajalności magnezu o 15,2%. Przeprowadzone badania powtórzono zwiększając o 10% zawartość fruktanów w diecie szczurów i wyniki wykazały, że zawartość inuliny w diecie spowodowała wzrost wskaźnika zawartości magnezu w kości udowej tych zwierząt o 5,3% (Krejpcio i in. 2009). Podjęto również próbę określenia wpływu inuliny ekstrahowanej z topinamburu na probiotyczne właściwości różnych szczepów *Lactobacillus*. Wyniki dotyczące interakcji probiotyk-prebiotyk wskazują, że chociaż inulina poprawiała przeżycie analizowanych szczepów to wpływ na zdolność adhezji zależał od badanego probiotyku (Iraporda i in. 2019).

3.1 Wykorzystanie topinamburu w leczeniu cukrzycy

Słonecznik bulwiasty posiada również substancje, które mogą pomóc osobom chorym na cukrzycę. Głównym problemem z jakim borykają się pacjenci z cukrzycą to kłopoty z utrzymaniem stałego poziomu glukozy we krwi przez niedostateczną syntezę insuliny lub spadek wrażliwości tkanek na ten hormon, co może spowodować uszkodzenie trzustki. Dlatego osoby z cukrzycą powinny stosować odpowiednią dietę bogatą w produkty o niskim indeksie glikemicznym. Inulina nie podnosi poziomu cukru we krwi i jest niskokaloryczna (150kcal/100g produktu), a dodana do

posiłków obniża ich kaloryczność, a także zwiększa uczucie sytości oraz spowalnia wchłanianie glukozy do krwi, co zapobiega nagłym wyrzutom insuliny.

Na przykład po podaniu diabetycznym szczurom wyciągu z bulw topinamburu zaobserwowano obniżenie poziomu glukozy we krwi o 18,0% oraz działanie hamujące na poziom kwasu tiobarbiturowego w tkance nerkowej o 24,5% (Aslan i in. 2010).

Badania pod kątem wpływu inuliny na wskaźnik glikemii po posiłkowej po zastosowaniu diety bogatej w polifruktany wykazały spadek średniego dziennego stężenia glukozy we krwi, a także zdarzeń hipoglikemicznych oraz spadek poziomu hemoglobiny glikowanej (Giacco, 2000).

Badania mające na celu ustalenie wpływu topinamburu w różnych stężeniach na wzrost probiotycznego *Lactobacillus acidophilus* P106 w bio-jogurcie podczas przechowywania go w temp. 5°C, a następnie karmienia tym synbiotycznym fermentowanym mlekiem myszy chore na cukrzycę stwierdzono, że topinambur wpłynął na wzrost tego szczepu oraz doprowadził do większego obniżenia poziomu glukozy we krwi, poziomu cholesterolu i całkowitej zawartości lipidów w porównaniu z kontrolą (Mahrous i in. 2014).

W przypadku hiperlipidemii i hipercholesterolemii występujących w zaburzeniach metabolicznych, które predysponują organizm do rozwoju chorób sercowo-naczyniowych, terapią pierwszego rzutu w ich leczeniu i zapobieganiu jest modyfikacja diety, w której należy ograniczać podaż kalorii, tłuszczu, nasyconych kwasów tłuszczowych oraz cholesterolu, a z kolei zwiększyć podaż rozpuszczalnej frakcji włókna pokarmowego, steroli roślinnych, niezbędnych kwasów tłuszczowych omega-3 (EPA, DHA) oraz izoflawonów i probiotyków. Słonecznik bulwiasty jako doskonałe źródło błonnika rozpuszczalnego w wodzie, może stanowić również element diety obniżającej poziom lipidów we krwi.

3.2 Właściwości hipolipemiczne

Badania naukowe potwierdzają, że inulina zawarta w topinamburze może być potencjalnym składnikiem funkcjonalnym żywności do zapobiegania i leczenia hiperlipidemii.

W profilaktyce chorób układu krwionośnego zaleca się dietę wysokowęglowodanową oraz niskotłuszczową, aby zmniejszyć poziom cholesterolu we krwi. Jednak przy uzyskanym efekcie docelowym pojawia się efekt uboczny, a mianowicie zwiększenie się stężenia triacyloglicerolu. W celu rozwiązania tego problemu przeprowadzono dodatkowe badania. Do diety osób z wysokim cholesterolem dodawano inulinę, która wywołała spadek lipogenezy wątrobowej, stężenia triacyloglicerolu oraz stężenia cholesterolu. Wyniki badań potwierdziły istotne właściwości inuliny w profilaktyce chorób sercowo-naczyniowych, a także w zmniejszaniu ryzyka wystąpienia miażdżycy (Letexier i in. 2003).

Badania oceniły wpływ inuliny z topinamburu na hiperlipidemię i mikroflorę jelitową u myszy karmionych dietą wysokotłuszczową. Myszy hiperlipemiczne leczone inuliną, miały obniżone stężenie lipidów trójglicerydowych w wątrobie, stężenie cholesterolu całkowitego w wątrobie i indeks miażdżycogenny. Podawanie inuliny zwiększyło także aktywność dysmutazy ponadtlenkowej i zmniejszyło stężenie malonodialdehydu wątrobowego oraz poprawiło mikroflorę jelitową poprzez zwiększenie ilości *Bifidobacterium* w jelicie myszy. Analiza histologiczna wątroby wykazała także poprawę stanu komórek u myszy hiperlipemicznych karmionych inuliną (Yu i in. 2018).

Okada i in. poddali ocenie tolerancję glukozy i profil lipidowy u szczurów karmionych dietą wysokotłuszczową bez i z dodatkiem topinamburu. Po 10 tygodniach wykazano, że poziom glukozy we krwi, 30 min po rozpoczęciu badania, w grupie szczurów karmionych dodatkowo topinamburem był znacząco niższy niż w grupie bez jego dodatku. Równocześnie poziomy trójglicerydów w wątrobie i całkowitego cholesterolu w tej grupie były znacznie niższe niż w grupie karmionej wyłącznie dietą wysokotłuszczową. Analizy histologiczne wykazały, że akumulacja tłuszczu i glikogenu zmniejszyła się w grupie karmionej dodatkowo topinamburem (Okada i in. 2017).

3.3 Inne właściwości lecznicze

Topinambur zawierający znaczną ilość rozpuszczalnego błonnika, w szczególności fruktanów (inuliny i oligofruktozy) mógłby zostać wykorzystany do leczenia biegunek oraz jako

dodatek stosowany do żywienia dojelitowego w szpitalach, jednak wymaga to dalszych badań (tak jak to zostało opisane w dalszej części podrozdziału).

Chittawataniarat i in. przedstawili pilotażowe zastosowanie kliniczne sproszkowanego topinamburu u pacjenta z biegunką na oddziale intensywnej terapii chirurgicznej, stosowano 2 gramy na każde 100 ml szpitalnego pokarmu dojelitowego przez 5 dni. Stwierdzono, że przetworzony proszek bulw topinamburu w mieszance do żywienia dojelitowego może poprawić wynik w zakresie leczenia biegunki, ale należy jednak przeprowadzić przyszłe randomizowane badanie kontrolne w celu wykazania bardziej wiarygodnych wyników, czyli zwalidować je (Chittawataniarat i in. 2019). Innym zastosowaniem topinamburu jak wspomniano mogłoby być wykorzystanie go w diecie u osób z fenylketonurią, ponieważ nie zawiera fenylalaniny i tyrozyny.

Jak wskazują badania, właściwości lecznicze topinamburu posiadają nie tylko bulwy, ale także liście i kwiaty rośliny. Z kwiatów *H. tuberosus* L. wyizolowano dwadzieścia trzy związki, spośród których 6 wykazało aktywność przeciw proliferacyjną *in vitro* wobec komórek raka okrężnicy HT29 i HCT116. A dwa z nich wykazały aktywność przeciwdrobnoustrojową przeciwko *E. faecium* i jeden przeciw *Mycobacterium tuberculosis* (Jantaharn i in. 2018). Z kolei z liści topinamburu wyizolowano nowy lakton seskwiterpenowy, dziesięć innych znanych laktonów seskwiterpenowych oraz dwa znane flawony. Następnie badano aktywności cytotoksyczne tych związków w stosunku do linii komórek rakowych MCF-7, A549 i HeLa. Wykazano, że laktony seskwiterpenowe wykazywały stałą cytotoksyczność wobec wszystkich trzech linii komórek rakowych, a flawony selektywną aktywność hamującą wobec linii komórkowych HeLa (Yuan i in. 2013).

3.4 Preparaty z topinamburu

Na bazie topinamburu wyprodukowano preparaty, takie jak Topinulin, Topinambur-Sirup i Topinambur-Pulver (Chittawataniarat i in. 2019). Są to suplementy diety do stosowania w celu zredukowania masy ciała, rozwoju prawidłowej flory bakteryjnej jelit, zmniejszenia łaknienia, wzmocnienia odporności organizmu oraz w stanach przewlekłego zmęczenia oraz dla chorych na cukrzycę lub zagrożonych cukrzycą. Preparaty zawierają sproszkowane bulwy ze słonecznika bulwiastego (*Helianthus tuberosus* L.) oraz dodatkowo inne substancje czynne. Biorąc pod uwagę, że roślina ta jest bardzo dobrym źródłem inuliny, półprodukty z topinamburu są wykorzystywane do przygotowania żywności dla diabetyków i sportowców oraz jako dodatki do soków i bezalkoholowych napojów, wyrobów mlecznych (jogurt), deserów, lodów, konfitur, a także produktów cukierniczych typu musli.

4. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę coraz to nowsze wyzwania stojące przed medycyną – choroby na które brakuje leków lub są mało skuteczne, a także posiadają wiele działań niepożądanych – pewną alternatywą jest profilaktyczne zabezpieczanie osób z wielu grup ryzyka właśnie ekstraktami lub substancjami pochodzącymi z roślin, które na nowo odkrywamy lub które możemy stosować jako żywność funkcjonalną. Ponadto, coraz to nowsze badania naukowe sięgające w głąb naszych komórek, na poziom molekularny dostarczają nam wiedzy na temat ich właściwości i możliwości ich zastosowania.

Ziołolecznictwo jako znana metoda leczenia niekonwencjonalnego obecnie coraz częściej jest stosowana w polskich domach, i jak się okazuje nie bez przyczyny, chociażby z powodu wielu badań nad topinamburem – sproszkowanym surowcem lub wyciągami, które są wykorzystywane w przemyśle farmaceutycznym, gdzie główną rolę odgrywa inulina zawarta w dużych ilościach w tej roślinie. Udowodnione jest jej stosowanie jako prebiotyku lub dodawanie jej do probiotyków, by zwiększyć stymulację flory bakteryjnej w jelitach. Ta zapomniana roślina po serii nowych badań przypomniała nam, że ma ogromny potencjał farmakologiczny i może być wykorzystana jako surowiec farmaceutyczny.

5. Literatura

Aslan M, Orhan N, Orhan DD, et al. (2010) Hypoglycemic activity and antioxidant potential of some medicinal plants traditionally used in Turkey for diabetes. *Journal of*

- Ethnopharmacology 128: 384–389.
- Chittawatanarat K., Polbhakdee Y, Surawang S. et al. (2019) SUN-PO031: The Processed Powder of Jerusalem Artichoke (*Helianthus Tuberosus* L.) Tuber Mixing in Hospital Enteral Feeding Formula for Diarrhea Patient in Surgical Intensive Care Unit: Preparation Method and Clinical Pilot Study. *Clinical Nutrition* 38(Supplement 1): 68-69
- Dolińska B, Mikulska A, Ryszka F (2009) Promotory wchłaniania wapnia. *Annales Academiae Medicae Silesiensis* 69(1): 76-83.
- Florkiewicz A, Cieślak E, Agnieszka Filipiak-Florkiewicz A (2007) Wpływ odmiany terminu zbioru na skład chemiczny bulw Topinamburu (*Helianthus tuberosus* L.) *ŻYWNOSĆ. Nauka. Technologia. Jakość* 3(52): 71 – 81.
- Giacco R, Parillo M, Rivellese AA, et al. (2000) Long-term dietary treatment with increased amounts of fiber-rich low-glycemic index natural foods improves blood glucose control and reduces the number of hypoglycemic events in type 1 diabetic patients. *Diabetes Care* 23(10): 1461-1466.
- Iraporda C, Rubel IA, Manrique GD, et al. (2019) Influence of inulin rich carbohydrates from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers on probiotic properties of *Lactobacillus* strains. *LWT- Food Science and Technology* 101: 738-746.
- Jantaharn P, Mongkolthanasak W, Senawong T, et al. (2018) Bioactive compounds from organic extracts of *Helianthus tuberosus* L. flowers. *Industrial Crops and Products* 119: 57-63.
- Krejpcio Z, Wójciak R, Staniek H, i inni (2009) Wpływ suplementacji diety fruktanami typu inuliny i chromem (III) na wskaźniki gospodarki magnezem u szczura. *Nauka. Technologia. Jakość* 4 (65): 175 – 182.
- Letexier D, Diraison F, Beylot M, (2003) Addition of inulin to a moderately high-carbohydrate diet reduces hepatic lipogenesis and plasma triacylglycerol concentrations in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition* 77(3): 559–564.
- Mahrous H, El-Kholy WM, Elsanhoty RM (2014) Production of New Synbiotic Yoghurt with Local Probiotic Isolate and Oat and Study its Effect on Mice. *Journal Advances in Dairy Research* 2(2): 1000121.
- Mansouri E, Mohamadi SA, Milani E, et al. (2016) Prebiotic effect of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) fructans on the growth performance of *Bifidobacterium bifidum* and *Escherichia coli*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease* 6(5): 385-389.
- Okada N, Kobayashi S, Moriyama K, et al. (2017) *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke) tubers improve glucose tolerance and hepatic lipid profile in rats fed a high-fat diet. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine* 10 (5): 439–443.
- Różański H. (2012) Słonecznik zwyczajny i bulwiasty. *Floroterapia – leczenie za pomocą kwiatów. Porady na zdrowie* 1 (20): 13-15.
- Rubel IA, Pérez EE, Genovese DB, et al. (2014) In vitro prebiotic activity of inulin-rich carbohydrates extracted from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers at different storage times by *Lactobacillus paracasei*. *Food Research International* 62: 59-65.
- Samal L, Chaturvedi VB, Saikumar G, et al. (2015) Prebiotic potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in Wistar rats: effects of levels of supplementation on hindgut fermentation, intestinal morphology, blood metabolites and immune response. *Journal of Science Food and Agriculture* 95(8): 1689-1696.
- Schaafsma G, Slavin JL (2015). Significance of inulin fructans in the human diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14(1): 37–47.
- Tymoszczuk K, Jachuła J, Rydzewski H, i inni (2017) Słonecznik bulwiasty jako roślina użytkowa, Monografia krakowska. *Innowacje a interdyscyplinarność w naukach przyrodniczych*: 85-97.
- Yu Q, Zhao J, Xu Z, et al. (2018) Inulin from Jerusalem artichoke tubers alleviates hyperlipidemia and increases abundance of bifidobacteria in the intestines of hyperlipidemic mice. *Journal of Functional Foods* 40: 187-196.
- Yuan X, Cheng M, Gao M, et al. (2013) Cytotoxic constituents from the leaves of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and their structure–activity relationships. *Phytochemistry Letters* 6(1): 21-25.

5. Wartość odżywcza i właściwości prozdrowotne skorzonery (*Scorzonera L.*)

Nutritional value and health properties of scorzonera

Ilona Gęsikowska^(1,2), Ewa Kurzeja⁽³⁾, Barbara Strzałka-Mrozik⁽⁴⁾, Grażyna Janikowska⁽³⁾

⁽¹⁾Studenckie Koło Naukowe przy Zakładzie Biologii Molekularnej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach,

⁽²⁾Młoda Farmacja Sosnowiec,

⁽³⁾Zakład Chemii Analitycznej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach,

⁽⁴⁾Zakład Biologii Molekularnej, Wydział Nauk Farmaceutycznych w Sosnowcu, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

Gęsikowska Ilona: ilonagesikowska@gmail.com

Słowa kluczowe: inulina, właściwości prebiotyczne, cukrzyca, miążdżycza

Streszczenie

Warzywa i owoce to produkty będące bogatym źródłem cennych związków bioaktywnych: błonnika, przeciwutleniaczy, witamin, składników mineralnych, kwasów tłuszczowych Ω -3, fitosteroli, które wpływając na fizjologię organizmu mogą stymulować różne przemiany metaboliczne zachodzące w organizmie i wspierać zdrowie człowieka. Konsumenty, mający coraz większą świadomość żywieniową coraz częściej sięgają po warzywa i owoce oraz rośliny wykorzystywane w kuchniach świata, a także mało znane lub zapomniane. Topinambur, skorzonera, salsefia, kard, karczoch, jarmuż to rośliny znane i uprawiane w Europie już kilkaset lat temu, a obecnie przeżywające swój renesans. Celem pracy jest przegląd literatury na temat wartości odżywczej oraz farmakologicznego potencjału aktywnych składników skorzonery (łac: Scorzonera L.). Rośliny należące do rodzaju Scorzonera były już wykorzystywane w medycynie ludowej, głównie w celu leczenia: chorób płuc, chorób pasożytniczych oraz do leczenia ran. Ze względu na bogaty skład chemiczny, skorzonera jest coraz częściej obiektem zainteresowań pod kątem jej właściwości leczniczych, a przeprowadzone dotychczas badania wykazały m.in. właściwości: przeciwzapalne i przeciwbólowe, przeciwbakteryjne i cytotoksyczne. Skorzonera będąca źródłem błonnika rozpuszczalnego w wodzie, steroli roślinnych oraz związków polifenolowych może stanowić również element diety obniżającej poziom lipidów i cholesterolu we krwi.

1. Wprowadzenie

Wzrost świadomości żywieniowej wśród konsumentów, dążenie do utrzymania dobrego stanu zdrowia oraz spowolnienia procesów starzenia skutkuje poszukiwaniem produktów o ukierunkowanym, pozytywnym oddziaływaniu na organizm człowieka. Warzywa i owoce oraz produkty zbożowe, cechujące się licznymi właściwościami prozdrowotnymi, oprócz zaspokajania głodu, spełniają również dodatkowe funkcje fizjologiczno-żywieniowe, wywierając wpływ na poprawę stanu zdrowia oraz zapobiegając przewlekłym chorobom niezakaźnym, takim jak: choroby sercowo-naczyniowe, metaboliczne, neurodegeneracyjne lub nowotworowe. Produkty te są bogatym źródłem cennych związków bioaktywnych: błonnika, przeciwutleniaczy, witamin, składników mineralnych, kwasów tłuszczowych Ω -3, fitosteroli, które wpływając na fizjologię organizmu mogą stymulować różne przemiany metaboliczne zachodzące w organizmie i wspierać zdrowie człowieka.

Mającą coraz większą świadomość żywieniową konsumenci, obserwując rynek żywnościowy coraz częściej sięgają po warzywa i owoce oraz rośliny wykorzystywane w kuchniach świata, a także mało znane lub zapomniane. Topinambur, skorzonera, salsefia, kard, karczoch, jarmuż to rośliny znane i uprawiane w Europie już kilkaset lat temu, a obecnie przeżywające swój renesans. Oprócz walorów smakowych oraz bogactwa cennych składników bioaktywnych, rośliny te cechuje łatwa uprawa i odporność na warunki klimatyczne, co czyni z nich bardzo atrakcyjny produkt żywieniowy, mogący sprostać stale rosnącym potrzebom konsumentów.

Celem pracy jest przegląd literaturowy na temat wartości odżywczej oraz farmakologicznego potencjału aktywnych składników skorzonery (łac: *Scorzonera L.*), zapomnianej rośliny z rodziny *Asteraceae*.

2. Charakterystyka rośliny i substancje bioaktywne

Skorzonera (*Scorzonera L.*) zwana również wężymordem czarnym lub czarną salsefią jest wieloletnią rośliną zielną, należąca do rodziny *Asteraceae* i występującą naturalnie na terenie Europy Środkowej i Południowej, Kaukazu oraz Południowej Syberii. Nazwa wężymord pochodzi od tradycyjnego zastosowania tej rośliny jako leku na ukąszenie węża. Obecnie skorzonera jest uprawiana w krajach Europy Zachodniej, głównie Belgii i Holandii jako warzywo mające szerokie zastosowanie w przemyśle kulinarnym (Granica i in. 2015). Spośród licznych odmian skorzonery, najbardziej powszechne są gatunki: *S. hispanica*, *S. latifolia*, *S. hieraciifolia*, *S. laciniata*, *S. suberosa*, *S. divaricata*, *S. cana*.

Zawartość składników odżywczych jest zależna od gatunku. Wyniki zawartości niektórych witamin i składników mineralnych, uzyskanych w badaniach Erden i wsp. przedstawia Tabela I. Ponadto w pojedynczych gatunkach stwierdzono obecność flawonoidów takich jak: rutyna, kwercytyna, kamferol, morina, myricetina, oraz fitosterole: ergosterol, stigmasterol i beta-sitosterol (Erden i in. 2013). Skorzonera zawiera w swoim składzie znaczne ilości cukrów. Z grupy węglowodanów znajdziemy w niej: glukozę, fruktozę, sacharozę, maltozę lub błonnik pokarmowy, na który składają się ligniny, celulozy, hemicelulozy oraz pektyny. Bardzo ważnym związkiem bioaktywnym skorzonery są fruktany, a wśród nich inulina, mająca prawdopodobnie największe znaczenie w leczeniu. Erden i in. w wymienionej wcześniej pracy w badanych gatunkach skorzonery oznaczyli znaczne ilości glukozy (567,28-826,97 µg/g), fruktozy (418,08-729,33 µg/g), sacharozy (521,33-1158,84 µg/g) oraz niewielkie ilości maltozy (10,26-14,53 µg/g). W kłączach skorzonery oznaczano także polisacharydy (ok. 17%) m.in.: inulinę (13-16%), pektyny (3-5%), błonnik (1,5-2,5%), celulozę (0,6%) oraz aminokwasy (mg/100g): argininę – 15, glutaminę - 238, lizynę - 127, leucynę - 151, fenyloalaninę - 86, walinę – 76 (Bashta i in. 2015).

Tab. I. Zawartość wybranych składników odżywczych w skorzonierze (Erden i in. 2013) .

Składnik Odżywczy	Wit. K	Wit. A	Wit. E	Wit. D	Ca	Na	K	Fe	Mg	Zn	Mn
Zawartość [µg/g]	0,65-1,59	0,02-0,25	0,08-0,6	1,19-3,77	3,32-3,42	9,55-15,19	560,22-774,43	0,04-0,12	0,18	0,08-0,13	0,1-0,15

W korzeniu skorzonery znajdują się również różnorodne związki polifenolowe, głównie flawonoidy i kwasy fenolowe, w tym kwas chlorogenowy, wykazujące działanie antyoksydacyjne. Z korzeni *Scorzonera hieraciifolia* wyodrębniono 9 związków m.in. estry metylowe kwasu: 5-O-feruloilochinowego, chlorogenowego, 3-O-kawoilochinowego, 3,5-di-O-kawoilochinowego, 1,3 ester metylowy kwasu-di-O-kawoilochinowego, kwas kawowy, ester (4"-karboksylo) fenyłowy kwasu 3-(4'-hydroksyfenylo)-2-propenowego (Sari i in. 2019). Również siedem pochodnych kwasu chinowego wyizolowanych z korzeni *S. divaricata* wykazywało działanie przeciwutleniające, przy czym niektóre z nich szczególnie silne (Yang i in. 2013). Inne związki wyizolowane z bulw, a także nadziemnych części skorzonery to: seskwiterpenoidy i lignany, benzyloftalidy, stilbenoidy i pochodne fenylobenzofuranu, a także alkaloidy (Granica i in. 2015; Wu i in. 2018).

3. Właściwości prebiotyczne – inulina

Inulina to związek z grupy polifruktanów, zaliczany do błonnika rozpuszczalnego w wodzie, naturalnie występujący w roślinach. Organizm człowieka nie trawi i nie wchłania tego oligosacharydu, ponieważ jest nierozpuszczalny w wodzie w temperaturze pokojowej (rozpuszcza się dopiero w temperaturze 80°C). Zdolność trawienia inuliny mają jedynie drobnoustroje przewodu

pokarmowego zwierząt roślinożernych i człowieka. Proces fermentacji inuliny prowadzi do zwiększenia ilości krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych i kwasu mlekowego, co powoduje spadek wartości pH w okrężnicy i stymuluje wzrost korzystnej mikroflory jelitowej. Dlatego powszechnie przypisuje się jej właściwości prebiotyczne, czyli wspierające namnażanie korzystnej mikroflory jelitowej i hamujące procesy gnilne w jelitach. Inulina poprawia przyswajanie składników mineralnych takich jak: wapń, magnez, żelazo, miedź, cynk i fosfor. Obniżone pH w jelicie cienkim powoduje wzrost stężenia tych pierwiastków w postaci jonowej oraz przyspiesza ich wchłanianie przez błonę śluzową jelita grubego, która rozrasta się dzięki inulinie.

Jednym z ważniejszych związków występujących w skorzonercie są fruktany, w tym inulina. Badania dotyczące właściwości tych związków i ich wpływu na organizm człowieka jednoznacznie potwierdziły, że fruktany mają pozytywny wpływ na mikroflorę bakteryjną przewodu pokarmowego (Schaafsma i Slavin 2015). Inulina nie tylko stymuluje rozwój mikroflory jelitowej, ale również może powodować wzrost tkanki łątkownicy i okrężnicy. Pod wpływem inuliny pozytywnym zmianom ulegają niektóre parametry biochemiczne krwi, jak stężenie hemoglobiny, glukozy, mocznika i wapnia (Samal i in. 2015).

Skorzonera ze względu na zawartą w niej inulinę, może stanowić alternatywę żywienia osób chorych na cukrzycę, którzy powinni stosować dietę opartą na produktach o niskim indeksie glikemicznym. Ponieważ inulina nie jest rozkładana w organizmie człowieka na cukry proste, nie podnosi poziomu cukru we krwi. Jest ponadto niskokaloryczna, a dodana do posiłków obniża ich kaloryczność, zwiększa uczucie sytości i spowalnia wchłanianie glukozy do krwi, co zapobiega nagłym wyrzutom insuliny.

Obok cukrzycy hiperlipidemia i hipercholesterolemia należą do grupy zaburzeń metabolicznych predysponujących do rozwoju chorób sercowo-naczyniowych. W zapobieganiu i leczeniu tych schorzeń terapią pierwszego rzutu jest modyfikacja diety, polegająca na ograniczaniu kalorii, tłuszczu, nasyconych kwasów tłuszczowych oraz cholesterolu oraz zwiększeniu podaży m.in. błonnika i związków antyoksydacyjnych. Skorzonera będąca źródłem błonnika rozpuszczalnego w wodzie, steroli roślinnych oraz związków polifenolowych może stanowić również element diety obniżającej poziom lipidów i cholesterolu we krwi.

Inulina i oligofruktoza mogą być stosowane również w zapobieganiu i leczeniu zaburzeń układu pokarmowego. Błonnik rozpuszczalny w wodzie pęczniąc w środowisku jelita cienkiego, tworzy żele o dużej lepkości, przez co zwiększa gęstość treści pokarmowej i wydłuża czas pasażu jelitowego; zapobiega zarówno zaparciom, jak i biegunkom (Erden i in. 2013). Na swojej dużej powierzchni adsorbuje toksyny, kwasy żółciowe, cholesterol, kwasy tłuszczowe opóźniając ich wchłanianie oraz powodując wydalanie ich z organizmu.

Skorzonera, zawierająca w swoim składzie znaczne ilości błonnika rozpuszczalnego w wodzie jest więc zalecanym produktem żywieniowym dla osób cierpiących na nadciśnienie, problemy z trawieniem, insulinooporność, a także zaburzenia poziomu lipidów i cholesterolu.

4. Właściwości farmakologiczne

4.1 Wykorzystanie skorzonery w gojeniu ran

Mleczko pozyskiwane z nadziemnych części Skorzonery od dawna służyło m.in. do przyspieszania gojenia się ran. Potencjał aktywności gojenia ran metanolowego wyciągu z *S. latifolia* był badany poprzez ocenę aktywności hamującej kolagenazę, hialuronidazę i elastazę, które odgrywają ważną rolę w procesie gojenia się ran. Spośród badanych związków 7-metyloizoorientyna wykazywała działanie hamujące na kolagenazy i elastazy, a kwercetyno-3-O-β-apiofuranosylo-(1"→2")-β-glukopiranozyd, wykazywał ten sam efekt, lecz tylko na kolagenazy. Natomiast nie stwierdzono żadnego działania hamującego na hialuronidazę. Wyniki przeprowadzonych testów *in vitro* potwierdziły że roślina zawiera związki hamujące działanie elastazy i kolagenazy (Akkol i in. 2019). Potwierdzenie zastosowania leczniczego *S. cana* do gojenia się ran było również celem innego badania, w którym ekstrakt metanolowy otrzymany z nadziemnych części rośliny wykazywał silne działanie hamujące na elastazę i kolagenazę i nieznaczną aktywność na hialuronidazę. Wyniki niniejszego badania ujawniły, że wyizolowane z rośliny: apigenina 7-O-β- glukozyd, luteolin 7-O-β-

glukozyd, apigenina 7-O- β -testinosid i izoorientyna wykazały silne działanie hamujące enzym (Bahadir i in. 2019). W obu wspomnianych badaniach analizowano również ekstrakty innych rozpuszczalników np. octanu etylu, ale ekstrakt metanolowy wykazywał największą aktywność hamującą.

Proces gojenia się ran przebiega lepiej, gdy stosowana substancja lecznicza wykazuje właściwości przeciwzapalne. Stosowanie skorzonery do gojenia się ran w medycynie ludowej wiąże się również z jej działaniem przeciwzapalnym, co zostało omówione poniżej.

4.2 Właściwości przeciwbólowe i przeciwzapalne skorzonery

W tureckiej medycynie ludowej tradycyjny 'mastyk' przygotowywany z korzeni *Scorzonera latifolia* jest stosowany w leczeniu bólu. Tak jak w wielu przypadkach właściwości surowców roślinnych niepotwierdzonych naukowo, podjęto próby wyizolowania i zidentyfikowania związków odpowiedzialnych za działanie antynocycyptywne korzenia *Scorzonera latifolia*. Na podstawie przeprowadzonych badań zidentyfikowano technikami MS i NMR trzy związki chemiczne: mirystynian triterpenowego taraksasterylu, octan taraksasterylu i fern 7-en-3- β -onu wykazujące takie działanie. Ponadto, stwierdzono, że zarówno frakcja n-heksanowa ekstraktu metanolowego z korzenia *S. latifolia*, jak i wyizolowane związki wykazywały działanie antynocycyptywne. Oprócz tego autorzy zasugerowali, że działanie przeciwbólowe ekstraktu jest efektem synergicznego oddziaływania wyizolowanych związków (Bahadir i in. 2010). Sugeruje się również, że flawonoidy i kwas chlorogenowy pochodzące ze *Scorzonera cana* var. *jacquiniana*, *Scorzonera cinerea*, *Scorzonera eriophora*, *Scorzonera incisa* i *Scorzonera parviflora* są częściowo odpowiedzialne za aktywność przeciwzapalną i antynocycyptywną tych gatunków (Küpeli Akkol i in. 2012).

W badaniach innych naukowców analizowano działanie przeciwzapalne *in vivo* ekstraktów z następujących gatunków skorzonery: *S. latifolia*, *S. cana* var. *jacquiniana*, *S. tomentosa*, *S. mollis* ssp. *szowitsii*, *S. eriophora*, *S. incisa*, *S. cinerea* i *S. parviflora*. Przeciwzapalne działanie ekstraktów oceniono pod kątem ich aktywności transkrypcyjnej na *TNF- α* i *IL-1 β* oraz translokacji jądrowej NF- κ B w makrofagach THP-1. NF-kappaB kontroluje ekspresję genów kodujących cytokiny prozapalne (np. IL-1, IL-2, IL-6, TNF-alfa itp.), Chemokiny (np. IL-8, MIP -1alfa, MCP1, RANTES, eotaksyna itp.), Cząsteczki adhezyjne (np. ICAM, VCAM, selektyna E), enzymy indukowane (COX-2 i iNOS), czynniki wzrostu, niektóre białka ostrej fazy i receptory immunologiczne, z których wszystkie odgrywają kluczową rolę w kontrolowaniu większości procesów zapalnych (Nam 2006). Badając hamujący wpływ ekstraktu ze skorzonery na efekt wytwarzania TNF- α i IL-1 β i translokację jądrową NF- κ B w stymulowanych LPS-em (lipoglikan lub endotoksyna znajdująca się w zewnętrznej błonie bakterii Gram-ujemnych; czynnik zapalny) makrofagach THP-1, stwierdzono, że wyciąg ze skorzonery wpływa na zahamowanie produkcji cytokin ostrej fazy zapalenia, czyli TNF- α oraz IL-1 β będących pod wpływem stymulacji zapalnej (Süntar in. 2011). W kolejnych badaniach tych samych autorów w analizie HPLC ujawniono we wszystkich badanych ekstraktach obecność kwasu chlorogenowego. Ponadto, stwierdzono obecność hiperozydu, kwercetyny-3-O- β -D-glukozydu i rutyny w różnych ilościach w niektórych analizowanych gatunkach skorzonera. Ponadto, zidentyfikowano osiem związków fenolowych takich jak: kwercetyno-3-O- β -D-glukozyd, hiperozyd, hydrangenol-8-O-glukozyd, swertizyna, 7-metyloizoorientyna, kwas 4,5-O-dikawoilo-chinowy, kwas 3,5-di-O-kofoeilochoinowy i kwas chlorogenowy. Wyizolowane z badanych ekstraktów związki były głównie związkami fenolowymi i terpenoidami uzyskanymi z różnych gatunków *Scorzonera* i zostały przetestowane pod kątem hamowania TNF- α , niestety jak piszą autorzy bez aktywności porównywalnej ze standardem (Acikara i in. 2015).

Działania przeciwzapalnego nie wykazano w badaniach Sari i wsp. Test hamowania COX wykazał, że wszystkie frakcje miały niski wpływ hamujący zarówno na enzymy COX-1, jak i COX-2 w porównaniu z indometacyną (Sari i in. 2019). Natomiast badając dziewięć związków wyizolowanych i zidentyfikowanych metodami spektroskopowymi ze *Scorzonera pygmaea* Sibth. & Sm, a mianowicie skorzopygmaekozyd, skorzonerol, cudrabibenzyl A, tunberginol C, skorzokretikozyd I i II, kwas chlorogenowy, ester metylowy kwasu chlorogenowego, 3,5 kwas -di-O-kawoilochoinowy wykazano ich wysoką zdolność przeciwutleniającą skorelowaną z ich zawartością fenoli i brak znaczącej aktywności przeciwdrobnoustrojowej przeciwko badanym

bakteriom i grzybom. Natomiast test hamowania COX do oceny działania przeciwzapalnego wykazał ich niskie hamowanie w porównaniu z indometacyną (Şahin i in. 2020).

Badania przedkliniczne zawartości metabolitów wtórnych w *Scorzonera alexandrina* z okolic Egiptu i ich aktywność hepatoprotekcyjną, a także działanie w kierunku zmniejszenia stężenia cukru we krwi i wrzodziejącego zapalenia jelita grubego wykazały że *S. alexandrina* zawiera skopoletynę, ksantotoksynę, apigeninę, luteolinę, kwercetyno-7-O-raminozyd i luteolin-7-O-glukozyd, a także wykazały znaczący spadek poziomu glukozy we krwi, poprawę funkcji wątroby (na podstawie oceny parametrów biochemicznych z krwi badanych szczurów), również znaczący efekt przeciwrzodowy (Donia 2016).

4.3 Właściwości cytotoksyczne i przeciwutleniające skorzonery

Podczas badań przeprowadzonych przez Yang'a i. wsp., nad składem chemicznym *S. divaricata*, z korzeni roślin zostało wyizolowanych siedem pochodnych kwasu chinowego. Cztery z nich to pochodne kwasu dihydrokaffeilochinowego, które należą do naturalnych związków bardzo rzadkich w królestwie roślin, wykazujących aktywność biologiczną, w tym aktywność przeciwutleniającą, działanie lipolityczne i przeciw otyłości, hamującą aktywność wątrobową translokazy glukozy-6-fosforanu. W badaniach stwierdzono, że wszystkie związki wykazywały aktywność przeciwutleniającą. Oprócz tego, jeden z tych wyizolowanych związków wykazał umiarkowaną aktywność w stosunku do linii komórek Hep-G2. Wyniki sugerują, że *S. divaricata* jest cennym źródłem przeciwutleniaczy oraz ma potencjał do stosowania w leczeniu chorób wątroby (Yang i in 2013).

W innych badaniach Yang i wsp. ze *S. divaricata* zostały wyizolowane cztery seskwiterpeny i trzy triterpeny, których działanie cytotoksyczne oceniano w testach *in vitro*. Jeden z triterpenów tirukalanu wykazywał znaczące działania cytotoksyczne wobec czterech linii ludzkich komórek rakowych (HL60, HeLa, HepG2 i SMMC-7721). Dwa siarczanowane seskwiterpenoidy gwajanowe również wykazywały działanie przeciwutleniające poprzez zmiatanie wolnych rodników kationowych ABTS (Yang i in. 2016).

Cytotoksyczność niektórych izolowanych związków ze *Scorzonera hispanica* i ich działanie na linię komórek szpiczaka i raka okrężnicy analizowano również we wstępnym badaniu Granica i in. Przeprowadzone testy cytotoksyczności wykazały, że dwa z sześciu wyizolowanych związków, mogą być interesujące w opracowaniu sposobu leczenia raka okrężnicy (Granica i in. 2015).

Wyciągi z nadziemnych części *S. divaricata* dały sulfoskorzoninę D i sulfoskorzoninę E. Ich wpływ na trzy linie komórek nowotworowych (K562, Hela i HepG2) oceniano za pomocą kolorymetrycznego testu cytotoksyczności MTT (przy użyciu soli tetrazoliowej). Analizowano także działanie przeciwbakteryjne wyizolowanych związków pod kątem dziewięciu różnych bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych. Związki wykazały silne działanie przeciwbakteryjne i umiarkowaną aktywność cytotoksyczną (Wu i in. 2018).

Z endemicznego *S. hieraciifolia* wyizolowano 9 związków, które oceniano *in vitro* pod kątem działania przeciwutleniającego, przeciwzapalnego i przeciwdrobnoustrojowego. Badano różne frakcje: eteru naftowego, chloroformu, octanu etylu i n-butanolu. Frakcja octanu etylu wykazała najwyższą ilość całkowitej zawartości fenolu i zdolności przeciwutleniającej. W badaniu nie stwierdzono znaczącej aktywności przeciwdrobnoustrojowej wobec testowanych bakterii i grzybów (Sari i in. 2019).

5. Podsumowanie

Rośliny należące do rodzaju *Scorzonera* są stosowane przeważnie jako żywność, ale mają także znaczny potencjał farmakologiczny do wykorzystania w przemyśle farmaceutycznym, ze względu na właściwości terapeutyczne, które były już wykorzystywane w medycynie ludowej, głównie w celu leczenia: chorób płuc, chorób pasożytniczych oraz do leczenia ran. Ze względu na bogaty skład chemiczny, skorzonera jest coraz częściej obiektem zainteresowań pod kątem jej właściwości leczniczych, a przeprowadzone dotychczas badania wykazały m.in. właściwości: moczopędne, galaktagogiczne czy przeciwgorączkowe. Biorąc pod uwagę coraz to nowsze wyzwania

żywnościowe, choroby na które brakuje leków lub są mało skuteczne, a także wiele działań niepożądanych stosowanych medykamentów, pewną alternatywą jest profilaktyczne zabezpieczenie osób z grup ryzyka produktami naturalnymi, pochodzącymi z roślin. Coraz to nowsze badania naukowe sięgające w głąb komórek, na poziom molekularny, dostarczają wiedzy na temat właściwości i możliwości zastosowania substancji biologicznie aktywnych pozyskiwanych z roślin. Wiele zapomnianych roślin, jak chociażby skorzonera, topinambur, karczoch, jarmuż, po serii nowych badań powróciło jako żywność o ogromnym potencjale farmakologicznym.

6. Literatura

- Akkol EK, Šmejkal K, Kurtul E, et al. (2019) Inhibitory activity of *Scorzonera latifolia* and its components on enzymes connected with healing process. *Journal of Ethnopharmacology* 245:112168.
- Bahadır Acikara Ö, Hošek J, Babula P, et al. (2015) Turkish *Scorzonera* Species Extracts Attenuate Cytokine Secretion via Inhibition of NF- κ B Activation, Showing Anti-Inflammatory Effect in Vitro. *Molecules* 21(1):E43.
- Bahadır Acikara Ö, İlhan M, Kurtul E, Šmejkal K, Küpeli Akkol E (2019) Inhibitory activity of *Podospermum canum* and its active components on collagenase, elastase and hyaluronidase enzymes. *Bioorganic Chemistry* 93:103330.
- Bahadır O, Citoğlu GS, Šmejkal K, Dall'Acqua S, Özbek H, Cvacka J, Zemlicka M (2010) Analgesic compounds from *Scorzonera latifolia* (Fisch. and Mey.) DC. *Journal Ethnopharmacology* 131(1): 83-87.
- Bashta A, Ivchuk N, Bashta O (2015) Yacón and *Scorzonera* as functional enrichment of food. *Ukrainian Journal of Food Science* 3(1): 13-22.
- Donia AM (2016) Phytochemical and pharmacological studies on *Scorzonera alexandrina* Bioss. *Journal of Saudi Chemical Society* 20(1): S433-S439.
- Erden Y, Kırbağ S, Yılmaz Ö (2013) Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of Some *Scorzonera* Species. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India - Section B: Biological Sciences* 83(2): 271–276.
- Granica S, Lohwasser U, Jöhrer K, Zidorn C (2015) Qualitative and quantitative analyses of secondary metabolites in aerial and subaerial of *Scorzonera hispanica* L. (black salsify). *Food Chemistry* 173: 321-331.
- Küpeli Akkol E, Bahadır Acikara O, Süntar I, Ergene B, Saltan Çitoğlu G (2012) Ethnopharmacological evaluation of some *Scorzonera* species: in vivo anti-inflammatory and antinociceptive effects. *Journal of Ethnopharmacology* 140(2):261-270.
- Nam NH (2006) Naturally occurring NF-kappaB inhibitors. *Mini Review of Medicinal Chemistry* 6(8): 945-951.
- Şahin H, Sarı A, Özsoy N, Özbek Çelik B, Koyuncu O (2020) Two new phenolic compounds and some biological activities of *Scorzonera pygmaea* Sibth. & Sm. subaerial parts. *National Product Research* 34(5):621-628.
- Samal L, Chaturvedi VB, Saikumar G, Somvanshi R, Pattanaik AK (2015) Prebiotic potential of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) in Wistar rats: effects of levels of supplementation on hindgut fermentation, intestinal morphology, blood metabolites and immune response. *Journal of Science Food and Agriculture* 95(8): 1689-1696.
- Sarı A, Şahin H, Özsoy N, Özbek Çelik B, (2019) Phenolic compounds and in vitro antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activities of *Scorzonera hieraciifolia* Hayek roots. *South African Journal of Botany* 125: 116-119.
- Schaafsma G, Slavin JL (2015). Significance of inulin fructans in the human diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 14(1): 37–47.
- Süntar İ, Acikara Bahadır Ö, Çitoğlu Saltan G, Keleş H, Ergene B, Küpeli Akkol E (2011) In vivo and In vitro Evaluation of the Therapeutic Potential of Some *Scorzonera* Species as Wound healing Agent. *Current Pharmacological Design* 137: 1018–1027.

- Wu QX, He XF, Jiang CX, Zhang W, Shi ZN, Li HF, Zhu Y (2018) Two novel bioactive sulfated guaiane sesquiterpenoid salt alkaloids from the aerial parts of *Scorzonera divaricate*. *Fitoterapia* 124: 113-119.
- Yang YJ, Liu X, Wu HR, , He XF, Bi YR, Zhu Y, Li ZL (2013) Radical scavenging activity and cytotoxicity of active quinic acid derivatives from *Scorzonera divaricata* roots. *Food Chemistry* 138(2-3): 2057-2063.
- Yang YJ, Yao J, Jin XJ, Shi ZN, Shen TF, Fang JG, Yao XJ, Zhu Y (2016) Sesquiterpenoids and tirucallane triterpenoids from the roots of *Scorzonera divaricata*. *Phytochemistry* 124: 86-98.

6. Zmiany liczebności drożdży w kefirach rynkowych w czasie przechowywania

Changes in the number of yeasts in market kefir during storage

Robert Gosik

Katedra Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Monika Wszolek prof. UR

Gosik Robert: roberto0101@wp.pl

Słowa kluczowe: mleko fermentowane, mikroorganizmy, przeżywalność

Streszczenie

W niniejszej pracy przeanalizowano niektóre z dostępnych na polskim rynku kefirów pod względem występowania w nich charakterystycznych dla kefirów bakterii i drożdży oraz wpływu przechowywania na ich liczebność. W jednej trzeciej badanych kefirów nie stwierdzono obecności drożdży, a z deklaracji producenta wynika, że były w nich obecne bakterie probiotyczne. Stwierdzono, że do produkcji mleka fermentowanego o nazwie kefir stosowane są kultury startowe o bardzo różnorodnym składzie mikrobiologicznym.

1. Wstęp

W obecnych czasach stosunkowo dużą popularnością cieszą się różne rodzaje mleka fermentowanego, co jest łatwe do zaobserwowania podczas analizy dostępnych tego rodzaju wyrobów na sklepowych półkach. Jednym z czynników przyczyniających się do tej tendencji są liczne badania potwierdzające prozdrowotne właściwości tych produktów. Dużym zainteresowaniem cieszy się szczególnie rodzaj mleka fermentowanego – kefir.

Pochodzi on z Kaukazu znajdującego się na terenie Rosji, jego nazwa sugeruje, iż jego spożycie powoduje dobre samopoczucie (John i Deeseenthum 2015).

W jego składzie znajduje się wiele mikroorganizmów z tego też względu posiada potencjał probiotyczny. Patrząc na różnorodność mikroorganizmów znajdujących się w kefirze, trudno stwierdzić z pewnością, iż w danym mleku fermentowanym znajduje się specyficzny szereg probiotyczny, można jednak spodziewać się, iż probiotyki znajdują się w danym produkcie. Dotyczy to, jednakże, tylko kefiru wyprodukowanego z ziaren kefirowych (Rosa et al. 2017). Należy dodać, że również ziarna w zależności od pochodzenia różnią się swym składem.

Produkt ten, jest źródłem witamin, związków mineralnych i niezbędnych aminokwasów. Zawiera on witaminy z grupy B, witaminę A, K oraz karoten. Kefir jest dobrym źródłem wapnia, magnezu, fosforu oraz potasu (Seher 2015). Produkt ten, nie tylko zawiera powyższe związki, ale również cechuje się on większą biodostępnością poszczególnych składników. Podczas fermentacji zachodzą różnorodne procesy biochemiczne. Białka są rozkładane na peptydy co czyni je łatwiej przyswajalnymi.

W kefirze w porównaniu z mlekiem niefermentowanym, znajduje się mniej laktozy, gdyż została ona częściowo przefermentowana przez mikroorganizmy do kwasu mlekowego a

obecny w nich enzym β -D galaktozydaza, rozkłada cukier mleczny w przewodzie pokarmowym do glukozy i galaktozy co ułatwia jej trawienie. Jest to szczególnie przydatne w przypadku osób, które nie tolerują laktozy (Ziajka 1997; Hertzler. i Clancy 2003).

Uważa się, że spożywanie odpowiedniej ilości kefiru może przyczynić się do zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia osteoporozy (Wszolek 2013). Samo wchłanianie wapnia nie zależy jedynie od ilości tego dostarczonego pierwiastka, ale również od stanu organizmu. W przypadku niedoborów witaminy D, wchłanianie wapnia może wynosić jedynie 15% (Smoczyński 2018). Zostały przeprowadzone badania potwierdzające, że kefir ma właściwości stymulujące działanie układu odpornościowego Założono, iż jest to wynik probiotycznych właściwości tego produktu. Okazało się jednak, że może to również wynikać z bioaktywności peptydów powstających podczas fermentacji lub trawienia w organizmie (Farnworth 2005; Żelazowski 2015).

Napój ten, ze względu na zawartość bakterii kwasu mlekowego oraz drożdży jest bardzo pomocny w utrzymywaniu prawidłowej mikroflory jelitowej organizmu (Jeżowska 2018).

Kolejną zaletą kefiru są jego właściwości przeciwbakteryjne. Wiele gatunków bakterii z rodzaju *Lactobacillus* sp. posiada zdolność wytworzenia związków wykazujących działanie antybakteryjne, w tym: kwasy organiczne (kwas octowy, kwas mlekowy), dwutlenek węgla, etanol, diacetyl, bakteriocyny itd. Metabolity te wpływają nie tylko na zahamowanie procesów psucia się produktu, ale również mogą być przydatne w przypadku zaburzeń żołądkowo-jelitowych (Farnworth 2005).

Warto również poświęcić uwagę na definicję tego produktu. Definicja kefiru zamieszczona w Polskiej Normie PN-A-86061:2002, brzmi następująco: „mleko fermentowane zawierające użytą do fermentacji charakterystyczną mikroflorę ziaren kefirowych z gatunku *L. kefir* oraz rodzajów *Lactococcus*, *Leuconostoc* i *Acetobacter* oraz drożdże. Norma ta określa, iż zawartość drożdży powinna być minimum 100 jtk/gram produktu.

Istnieje również druga definicja kefiru, zawarta w Codex Alimentarius, jest ona bardziej wymagająca niż Polska Norma, która została oparta na Codex Alimentarius. Według tej definicji kefir jest uzyskany z „Kultur starterowych przygotowanych z ziaren kefirowych takich jak *Lactobacillus kefir*, gatunki z rodzajów *Leuconostoc*, *Lactococcus* i *Acetobacter* rozwijające się w specyficznej ścisłej zależności. W skład ziaren kefirowych się wchodzi zarówno drożdże fermentujące laktozę (*Kluyveromyces marxianus*) i niefermentujące laktozy (*Saccharomyces unisporus*, *Saccharomyces cerevisiae* i *Saccharomyces exiguus*)”. Według tej definicji liczebność drożdży w kefirze powinna wynosić 1×10^4 jtk/gram produktu (Codex Alimentarius 2011).

Sama liczebność drożdży określana przez powyższe definicje jest jednym z wyznaczników czy analizowane produkty można określić terminem „kefir”. Należy jednak zaznaczyć, iż powyższe definicje nie mają mocy prawnej, są wskazaniem jakie cechy powinien posiadać kefir.

2. Materiał i metody

2.1 Materiał badawczy

Materiałem badawczym były próbki kefirów dostępne na polskim rynku produktów spożywczych w roku 2018.

Kefiry do badań wybrano na podstawie ich ogólnodostępności dla przeciętnego konsumenta. W celu przeanalizowania różnej jakości produktów dostępnych w handlu zakupiono zarówno najtańsze oraz jedne z droższych dostępnych produktów. Przeanalizowano również kefir wytwarzany z mleka pochodzącego z gospodarstw ekologicznych. Do badań wybrano zarówno te produkty, na których była podana informacja, iż posiadają kultury drożdży kefirowych, oraz produkty z deklaracją producenta jedynie o zawartości żywych kultur bakteryjnych co jest już wymogiem prawnym dla wszystkich rodzajów mleka fermentowanego, więc nie powinno być na etykietce.

Kefiry badano na początku okresu przydatności do spożycia oraz pod koniec tego terminu, czyli jak zakładano przy pełnej wysokiej jakości produktu i wymaganej liczebności mikroorganizmów kultur startowych.

2.2 Oznaczanie liczby wybranych grup drobnoustrojów w kefirze

- Liczbę drożdży i pleśni oznaczono metodą płytkową w temperaturze 25°C, wg PN-ISO 6611:2007.
- Oznaczenie liczby pałeczek mlekowych w produkcie przeprowadzono przez posiew odpowiednich rozcieńczeń produktu na podłoże MRS Agar (pH 6.3), a następnie inkubację w warunkach beztlenowych w 37°C przez 72 h. Wyrosłe z odpowiednich rozcieńczeń produktu kolonie zliczono i wyrażano ich liczbę w jednostkach tworzących kolonie w 1 ml produktu [Fil/IDF Std., 149-1991].
- Oznaczenie liczby paciorkowców mlekowych w produkcie przeprowadzono przez posiew odpowiednich rozcieńczeń produktu na podłoże M-17 (pH 7,15), a następnie inkubację w warunkach tlenowych w 22°C przez 120 h. Wyrosłe z odpowiednich rozcieńczeń produktu kolonie zliczono i wyrażano ich liczbę w jednostkach tworzących kolonie w 1 ml produktu [FIL/IDF Std. - 149A -1997].

3. Wyniki i dyskusja

Zgodnie z definicją, kefir powinien zawierać charakterystyczną mikroflorę ziarna kefirowego oraz drożdże. Niestety obecnie nie istnieje rozporządzenie prawne np. jak w przypadku masła, które regulowałoby nazewnictwo produktów takich jak kefir, i nie dopuszczałoby używania nazwy kefir w przypadku mleka fermentowanego bez udziału drożdży. Prowadzi to do sytuacji, z którą mamy do czynienia w przypadku niektórych w powyższych produktach.

W przypadku jednej trzeciej badanych produktów nie zidentyfikowano drożdży kefirowych, co było zgodne z deklaracją producenta. Dwa z trzech tych produktów (nr 5 oraz 6) zaklasyfikowano do kategorii „bio” powodu obecności w ich składzie szczepów bakterii probiotycznych. Brak w posiewach drożdży świadczy, że zastosowano szczepionki nie zawierające tych mikroorganizmów, a co za tym idzie, nie powodujących wytworzenie dwutlenku węgla i kefir przypominał smakiem mleko ukwaszone (nie przeprowadzono profesjonalnej oceny organoleptycznej).

Produkt numer 1 nie zawierał drożdży. Cechy organoleptyczne tego produktu nie były charakterystyczne dla kefiru. W 6 z 9 produktów zidentyfikowano drożdże. W 6 kefirach zawierających drożdże nastąpił ich wzrost, przypadku jednego nastąpiło zmniejszenie liczebności drożdży (kefir 7), a w innym poziom utrzymał się na prawie takim samym poziomie po przechowywaniu (kefir 9).

Porównując te wyniki z rezultatami z publikacji Lasik i in. (2010) otrzymano odwrotny wynik. Autorka stosując szczepionkę Kefir DC do zaszczepienia mleka krowiego (Danisco Biolacta Sp. z o.o.) zaobserwowała, iż liczebność drożdży zmalała o niecałe 2 cykle logarytmiczne po 14 dniowym przechowywaniu. Wynikać to mogło z zastosowania przez autorkę innych kultur starterowych niż te, które zostały użyte przy produkcji badanych w tej pracy produktów, albo z przechowywania kultury w zamrożeniu. W tej szczepionce do liofilizacji drożdży, nie stosowano krioprotektora i producent zalecał przechowywanie szczepionki w temperaturze do 4°C Autorka również zaobserwowała tendencję spadkową w przypadku ogólnej liczby bakterii kwasu mlekowego po takim samym okresie przechowywania, co mogło wynikać też z braku prawidłowego dojrzewania produktu.

W produktach numer 4 oraz 8 zaobserwowano ciekawą zależność. W obu przypadkach na początku okresu przechowywania nie zaobserwowano obecności lub też zaobserwowano bardzo znikomą liczbę drożdży. Natomiast pod koniec okresu przechowywania liczba drożdży znacząco zwiększyła się (ponad 4 cykle logarytmiczne). Trudno jednoznacznie stwierdzić, dlaczego uzyskano takie wyniki. Można przypuszczać, że kultura zawierała niewielką liczbę drożdży w stosunku bakterii fermentacji mlekowej a produkty analizowano bezpośrednio po produkcji. Przechowywanie w odpowiedniej dla drożdży temperaturze umożliwiły im optymalne zwiększenie populacji. Prawdopodobnie została wykorzystana do produkcji kultura starterowa o niewielkiej zawartości drożdży, minimalizująca nadmierny wzrost drożdży podczas przechowywania.

Jak zostało wspomniane we wstępie, wg Polskiej Normy PN-A-86061:2002 zawartość drożdży powinna wynosić nie mniej niż 100 jtk/g.

Większość produktów zawierających drożdże spełniały to kryterium z wyłączeniem świeżych produktów nr 4 i 8 oraz produktu nr 7 po przechowywaniu. W przypadku Codex Alimentarius zawartość drożdży powinna wynosić 10 000 jtk/g produktu. Kefiry oznaczone 2, 4 i 8 po przechowywaniu spełniły to kryterium. W przypadku produktu 7 jedynie produkt świeży spełnił to kryterium, następnie obserwowano drastyczny spadek liczebności tych mikroorganizmów. Był to jedyny produkt, w którym zaobserwowano redukcję zawartości drożdży podczas przechowywania.

Analizując powyższy wykres (Rys.2), można zaobserwować, iż wszystkie przebadane produkty charakteryzowały się podobną zawartością paciorkowców mlekowych. Wyniki mieszczą się w przedziale od $4,4 \times 10^7$ jtk/g, do $4,9 \times 10^8$ jtk/g. Zmiana liczebności w trakcie przechowywania jest niewielka. Porównując wyniki z wykresem przeżywalności drożdży, nie zaobserwowano korelacji między zawartością paciorkowców a przeżywalnością drożdży.

Przypatrując się wynikom uzyskanym przez produkty typu „bio”, w przypadku paciorkowców w jednym kefirze nastąpiło zwiększenie liczebności (nr 5), w drugim zmniejszenie ich liczby (nr 6). W produkcie nr 1 paciorkowce po przechowywaniu utrzymały się na tym samym

poziomie. Dominującą mikroflorą dla kefiru były paciorkowce, co jest również zgodne z wynikami uzyskanymi przez (Molską i in.2003).

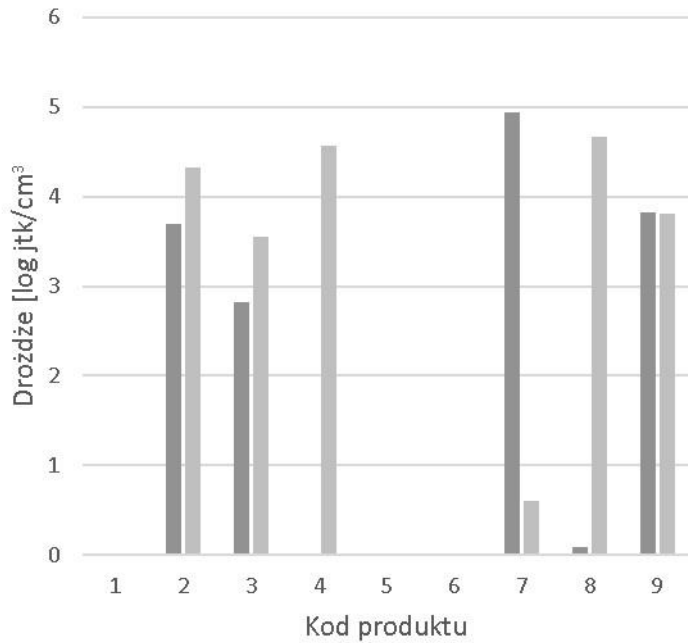
Tab.1 Liczebność wybranych grup mikroorganizmów i charakterystyka produkcyjna badanych kefirów.

Rodzaj kefiru	Czas	Paciorkowce [jtk/cm ³]	Pałeczki [jtk/cm ³]	Drożdże [jtk/cm ³]	Tłuszcz g/100 g	Białko g/100 g	Deklaracja producenta na etykiecie, opakowanie
1	1	4,8×10 ⁸	2,5×10 ⁸	0,00	2,00	3,70	*mleko częściowo odtłuszczone, białka mleka odtłuszczone, mleko w proszku, kultury bakterii fermentacji mlekowej
	2	4,8×10 ⁸	5,6×10 ⁸	0,00			
2	1	1,5×10 ⁸	2,9×10 ⁸	4,9×10 ³	2,00	4,00	*mleko, mleko w proszku, białka mleka, aktywna mikroflora
	2	4,2×10 ⁸	3,2×10 ⁸	2,1×10 ⁴			
3	1	2,7×10 ⁸	2,5×10 ⁶	6,6×10 ²	2,00	3,20	mleko ekologiczne, żywe kultury bakterii oraz drożdże kefirowe
	2	4,4×10 ⁷	2,8×10 ⁵	3,5×10 ³			
4	1	1,5×10 ⁸	3,7×10 ⁷	0,00	1,50	3,00	mleko pasteryzowane, żywe kultury bakterii oraz drożdże kefirowe
	2	3,3×10 ⁸	1,5×10 ⁷	3,7×10 ⁴			
5	1	3,4×10 ⁸	1,1×10 ⁸	0,00	1,50	3,40	mleko, żywe kultury bakterii (<i>Lactococcus lactis</i> , <i>Leuconostoc mesenteroides</i> , <i>L. acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium</i> , <i>S.thermophilus</i> , <i>L. bulgaricus</i>)
	2	1,1×10 ⁸	4,6×10 ⁷	0,00			
6	1	4,8×10 ⁷	1,0×10 ⁷	0,00	2,50	3,40	*mleko pasteryzowane, żywe kultury bakterii oraz <i>L. acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium brevis</i>
	2	1,8×10 ⁸	5,5×10 ⁶	0,00			
7	1	7,1×10 ⁷	1,0×10 ⁷	8,7×10 ⁴	1,50	3,00	mleko, żywe kultury bakterii mlekowych
	2	1,3×10 ⁸	2,2×10 ⁷	4,0			
8	1	1,7×10 ⁹	3,6×10 ⁸	1,2	2,00	3,40	mleko, mleko w proszku odtłuszczone, żywe kultury bakterii oraz drożdże kefirowe
	2	4,9×10 ⁸	3,5×10 ⁷	4,7×10 ⁴			
9	1	1,1×10 ⁸	6,2×10 ⁶	6,8×10 ³	1,50	3,20	mleko pasteryzowane, żywe kultury bakterii oraz drożdże kefirowe
	2	5,1×10 ⁷	0,00	6,5×10 ³			

*Produkty pakowane w kubeczki

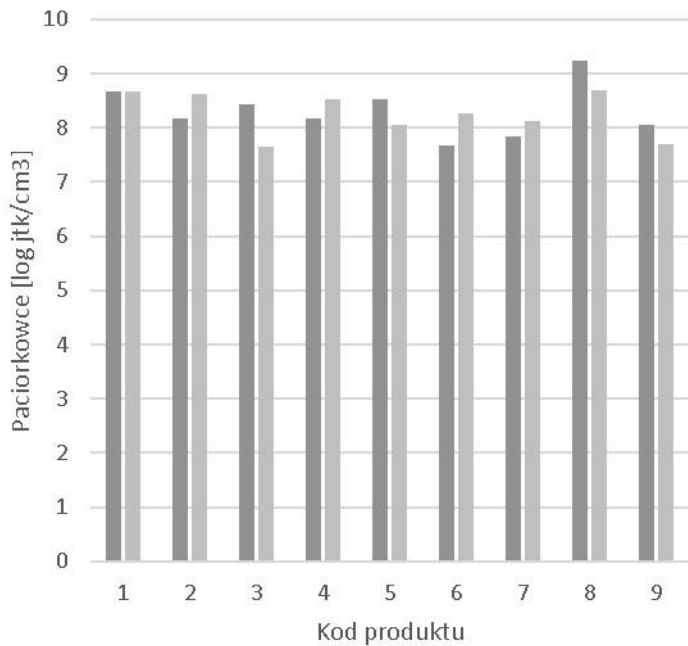
Na podstawie wykresu (Rys. 3) można stwierdzić, iż najniższą ilość pałeczek mlekowych zaobserwowano w produkcie nr 3 wyprodukowanym z mleka ekologicznego. Nie zaobserwowano jednak korelacji pomiędzy użyciem do produkcji mleka ekologicznego, a niższą zawartością pałeczek mlekowych. Produkt nr 5, z deklaracją producenta o stosowaniu mleka ekologicznego uzyskał wynik porównywalny z pozostałymi produktami na poziomie 1,1×10⁸ i 4,6×10⁷ jtk/g. W przypadku kefirów

zaklasyfikowanych jako typ „bio” (nr 5 i 6) nastąpiło zmniejszenie liczebności pałeczek mlekowych w czasie przechowywania.



■ Produkt świeży ■ Produkt po 3 tygodniowym przechowywaniu

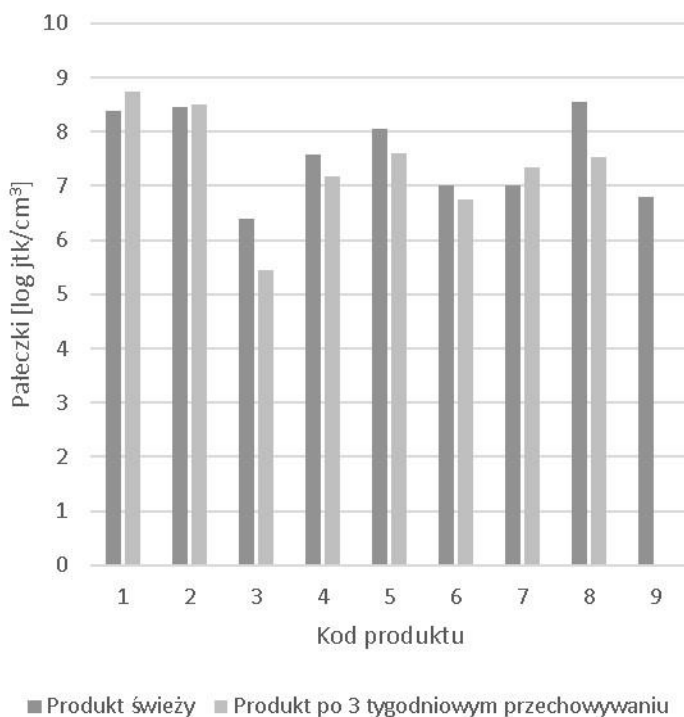
Rys.1 Zmiany liczebności drożdży w kefirach rynkowych w czasie przechowywania.



■ Produkt świeży ■ Produkt po 3 tygodniowym przechowywaniu

Rys.2 Zmiany liczebności pacjorkowców w kefirach rynkowych w czasie przechowywania.

Liczebność pałeczek mlekowych plasowała się na podobnym poziomie, jednakże w niektórych przypadkach liczebność była mniejsza. Dotyczyło to produktu oznaczonego numerem 3. Miał on mniejszą liczbę pałeczek mlekowych niż pozostałe kefiry, co wskazywać może na kulturę startową wyprodukowaną z ziaren kefirowych.



Rys.3. Zmiany liczebności pałeczek w kefirach rynkowych w czasie przechowywania.

W przypadku opakowań badanych kefirów większość stanowiły butelki z wyjątkiem produktu nr 1, 2 i 6. Produkty nr 1 i 6 nie zawierały drożdży w swym składzie. Jedynie w przypadku produktu nr 2 zaobserwowano w liczbie $4,3 \times 10^3$ jtk/g. Przepuszczalnie była to kultura, w której znajdowały się drożdże nie wytwarzające dwutlenku węgla – *Debaryomyces hansenii* (Hansen® 2015). Większość producentów używa do pakowania kefiru butelek. Wynika to z obecności drożdży kefirowych. Podczas fermentacji, jednym z produktów metabolizmu powstających w wyniku aktywności drożdży jest dwutlenek węgla.

Zastosowanie przez producenta opakowania typu kubek, niesie ryzyko wzdymania wieczka wraz z procesem dojrzewania. To z kolei może być czynnikiem zniechęcającym potencjalnego konsumenta do zakupu takiego produktu.

Zawartość tłuszczu w produktach wahała się od 1,5 do 2,5 % tłuszczu. Analizując zawartość tłuszczu w produkcie w poszczególnych kefirach nie zaobserwowano związku między tym czynnikiem, a liczebnością drożdży.

4. Wnioski

- Do produkcji mleka fermentowanego o nazwie kefir stosowane są kultury startowe o bardzo różnorodnym składzie mikrobiologicznym.
- Mleko fermentowane nie zawierające w swym składzie drożdży a jedynie bakterie probiotyczne i mezofilne bakterie mlekowe powinny być nazywane probiotycznym mlekiem ukwaszonym lub mlekiem fermentowanym typu kefir.
- Przechowywanie kefirów w warunkach chłodniczych pozytywnie wpływa na zwiększenie populacji drożdży.

- d) Dostarczanie na rynek kefirów o cechach funkcjonalnych i w zgodzie z oczekiwaniami klienta będzie możliwe, gdy zostanie wydane rozporządzenie wymagające obecności drożdży w kefirach rynkowych zgodnie z kodeksem żywnościowym.

5. Literatura

- Alimentarius Codex (2011) Milk and milk products. WHO and FAO.
- Farnworth ER (2006) Kefir—a complex probiotic. *Food Science and Technology Bulletin: Fu* 2(1): 1-17.
- FIL-IDF Standard 149: 1991, Lactic acid starters, Standard of identity.
- FIL-IDF Standard 149A: 1997a, Dairy starter cultures of lactic acid bacteria (LAB).
- Hansen ®(2015) Materiały informacyjne firmy Christian Hansen.
- Hertzler SR, Clancy SM (2003) Kefir improves lactose digestion and tolerance in adults with lactose maldigestion. *Journal of the American Dietetic association* 103(5): 582-587.
- Jeżewska A (2018) Znaczenie w dietetyce bakterii fermentacji mlekowej i probiotyków. *Przegląd Mleczarski* (03): 35-38.
- John SM, Deeseenthum S (2015) Properties and benefits of kefir - A review. *Songklanakarinn Journal of Science and Technology* 37: 275-282.
- Lasik A, Lasik M, Pikul J (2010) Wpływ rodzaju mleka na aktywność bakterii fermentacji mlekowej i drożdży w napojach fermentowanych. *Aparatura Badawcza i Dydaktyczna* 15: 51-56.
- Molska I, Nowosielska R, Frelik I (2003) Zmiany jakości mikrobiologicznej kefiru i jogurtu rynku warszawskiego w latach 1995–2001. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* 54(2): 145-152.
- PN-A-86061:2002 Mleko i przetwory mleczne. Mleko fermentowane.
- PN-ISO 6611:2007 Mleko i przetwory mleczne. Oznaczanie liczby jednostek tworzących kolonie drożdży i/lub pleśni. Metoda płytkowa w temperaturze 25 °C.
- Rosa D, Dias M, Grześkowiak Ł et al. (2017). Milk kefir: nutritional, microbiological and health benefits. *Nutrition research reviews* 30(1): 82-96.
- Seher A (2014) A review: chemical, microbiological and nutritional characteristics of kefir. *CyTA- Journal of Food* 13.3: 340-345.
- Smoczyński SS (2018) Chemiczne aspekty higieny żywności-pozytywne chemiczne składniki mleka cz. 2. Tłuszcz mlekowy. *Przegląd Mleczarski* (04): 29-35.
- Wszolek M (2013) Kefir-produkt probiotyczny. *Aura* (9): 11-13.
- Ziąjka S red (1997) *Mleczarstwo: zagadnienia wybrane*. Wydawnictwo Akademia Rolniczo-Techniczna im. M. Oczapowskiego w Olsztynie: 66-67.
- Żelazowski P (2015) Życie w mlecznych napojach fermentowanych. *Życie... i o nim interdyscyplinarnie*: 212-233.

7. Charakterystyka enzymu peroksydazy tyroidowej (TPO), wpływ stresu oksydacyjnego na jego funkcjonowanie oraz zastosowanie metody izobolograficznej do obrazowania interakcji pomiędzy składnikami aktywnymi żywności na jego obniżenie

Characterization of the thyroid peroxidase enzyme (TPO), the impact of oxidative stress on its functioning and the use of the isobolographic method to visualize the interaction between active ingredients of food to reduce the oxidative stress

Habza-Kowalska Ewa⁽¹⁾, Szafrąńska Jagoda⁽²⁾

⁽¹⁾Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

⁽²⁾Zakład Technologii Mleka i Hydrokoloidów, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: prof. dr hab. Urszula Gawlik-Dziki

Habza – Kowalska Ewa: ewa.habza1@gmail.com

Słowa kluczowe: polifenole, wolne rodniki, stan zapalny.

Streszczenie

Peroksydaza tarczycowa (TPO) jest enzymem uczestniczącym w syntezie hormonów tarczycy. TPO katalizuje utlenianie jodku, tworząc atomy jodu, które są przyłączane do reszt tyrozyny na tyroglobulinie w celu produkcji hormonów tarczycy tyroksyny lub trijodotyroniny.

Do prawidłowego funkcjonowania tarczycy niezbędny jest nadtlenek wodoru, jedna z tzw. reaktywnych form tlenu (RFT). RFT to produkty niecałkowitej redukcji cząsteczki tlenu.

Mogą być to neutralne cząsteczki lub jony oraz wolne rodniki tlenowe. Wolne rodniki tlenowe są bardzo reaktywne, szybko wchodzą w reakcje, w tym łańcuchowe.

Nadmiar reaktywnych form tlenu, prowadzi do powstania w organizmie stresu oksydacyjnego. Stres oksydacyjny to brak równowagi między wolnymi rodnikami i przeciwutleniaczami w ciele człowieka. Istnieją jednak substancje, zwarte w pożywieniu, które mogą znacznie obniżyć poziom reaktywnych form tlenu i są określane mianem przeciwutleniaczy. Przeciwutleniacze to cząsteczki, które mogą oddawać elektron wolnemu rodnikowi bez powodowania niestabilności. Dzięki temu, wolne rodniki stabilizują się i stają się mniej reaktywne. Do przeciwutleniaczy zalicza się substancje indukujące enzymy o charakterze przeciwutleniającym lub hamujące enzymy katalizujące procesy utleniania. Można do nich zaliczyć związki polifenolowe, których bogatym źródłem jest żywność pochodzenia roślinnego. Interakcje zachodzące pomiędzy polifenolami oraz między polifenolami a matrycą żywności mogą przyczynić się do obniżenia stresu oksydacyjnego w komórkach i wspomóc ich powrót do stanu homeostazy. Do analizy interakcji pomiędzy substancjami aktywnymi służy analiza izobolograficzna, dzięki której możliwe jest określenie, czy dane substancje wzmacniają wzajemnie swoje działanie czy też hamują.

1. Wstęp

Prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka jest zależne od wielu procesów w nim zachodzących. Jednym z typów procesów są reakcje enzymatyczne. Brak równowagi procesów zachodzących w ludzkim ciele może prowadzić do stresu oksydacyjnego oraz powstawania tzw. chorób cywilizacyjnych. Enzym katalizujący wydzielanie hormonalne wewnątrz tarczycy nosi nazwę peroksydaza tyroidowa (TPO). Występowanie stanu zapalnego może zmniejszyć jego aktywność lub nawet całkowicie ją zahamować. Stan zapalny to naturalny mechanizm obronny przeciwko patogenom. Związany jest z wieloma patogennymi chorobami, takimi jak infekcje bakteryjne czy wirusowe, ekspozycja na alergen, promieniowanie i toksyczne chemikalia, choroby autoimmunologiczne i przewlekłe, otyłość, spożywanie alkoholu, palenie tytoniu i wysokokaloryczna

dieta. Wiele chorób przewlekłych związanych z wysoką produkcją reaktywnych form tlenu (RFT) powoduje stres oksydacyjny i utlenianie białek. W celu zmniejszenia stresu oksydacyjnego można stosować m.in. środki farmakologiczne oraz zbilansowaną dietę zawierającą związki o działaniu antyoksydacyjnym. Do tych związków zaliczyć można polifenole, których bogatym źródłem jest żywność pochodzenia roślinnego. Jako że fitozwiązki nie występują w roślinach pojedynczo konieczne jest określenie ich wzajemnych oddziaływań. W tym celu stosuje się analizę izobolograficzną, dzięki której możliwe jest zbadanie równoczesnego wpływu dwóch polifenoli w formie czystej lub dwóch roztworów roślinnych zawierających substancje aktywne. Metoda jest czasochłonna i dość skomplikowana, lecz uzyskane wyniki mogą przyczynić się do głębszego zrozumienia istoty doboru odpowiednich składników pokarmowych oraz poszerzeniu wiedzy na temat wpływu żywności na zdrowie człowieka.

2. Przegląd literatury

W dzisiejszych czasach zdrowie człowieka jest często determinowane przez pryzmat występowania tak zwanych chorób cywilizacyjnych. Są to przewlekłe choroby wynikające z nowoczesnego stylu życia. Współczesny styl życia charakteryzuje wysoki poziom stresu, zbyt mała aktywność fizyczna, niewłaściwie zbilansowana dieta dostarczająca organizmowi zbyt dużo węglowodanów i kalorii, a także zanieczyszczenia środowiska. Czynniki te promują wytwarzanie wolnych rodników i narażają ludzkie ciało na zaburzenia homeostazy. Konsekwencją jest rozwój przewlekłego stanu zapalnego, a także nadreaktywność układu odpornościowego. Bardzo często działania te leżą u podstaw chorób tarczycy - zarówno nadczynności, jak i niedoczynności. Kluczowy dla powodzenia profilaktyki i terapii chorób tarczycy jest właściwy styl życia. Najwięcej uwagi należy poświęcić unikaniu stresu i właściwemu odżywianiu. Dieta w chorobach tarczycy powinna być bogata w substancje mające wysoki potencjał przeciwzapalny i przeciwutleniający.

Peroksydaza tarczycowa, zwana także tyroperoksydazą (TPO, EC 1.11.1.14) lub peroksydazą jodkową, jest enzymem uczestniczącym w syntezie hormonów tarczycy. W ludzkim ciele jest kodowany przez gen, który znajduje się na chromosomie 2p25 mRNA kodujący specyficzną dla tarczycy glikozylowaną hemoproteinę związaną na błonie szczytowej tyrocytów (Lap-Yin Pang i in. 2010). TPO katalizuje utlenianie jodku, tworząc atomy jodu, które są przyłączane do reszt tyrozyny na tyroglobulinie w celu produkcji tyroksyny lub trijodotyroniny będących hormonami tarczycy (Ruf i in. 2006). Proces działania enzymu TPO przebiega następująco: jod nieorganiczny dostaje się do organizmu jako jodek. Po wejściu jodku do pęcherzyka tarczycy dzięki aktywności symportera sodowo – jodowego (NIS) przesuwa się przez błonę do koloidu z pomocą białka pendryny, po czym peroksydaza tarczycy utlenia jod do atomowego jodu (I+) lub jodu (I). Wbudowanie jodu w tyreoglobulinę związane z produkcją hormonu tarczycy jest niespecyficzne. Nie ma to bezpośredniego związku z TPO, ale proces jodowania zachodzi z udziałem reaktywnych form jodu uwalnianych z TPO (Kessler i in. 2008).

Peroksydaza tarczycowa (TPO) względem której autoprzeciwciała klasy IgG oraz komórki T wykazują wysokie powinowactwo. Są one zaangażowane w niszczenie tarczycy lub są markerami naciekania tarczycy. Peroksydaza tarczycy jest głównym antygenem w ludzkiej chorobie Hashimoto, a przeciwciała anty – TPO indukują cytotoksyczność zależną od dopełniacza. Ponadto u pacjentów z chorobą Hashimoto wykrywane są przeciwciała przeciw dopełniaczowi (anty-C1q). Są one skorelowane z poziomem hormonu stymulującego tarczycę (TSH). Wielu pacjentów z wrodzoną niedoczynnością tarczycy ma problemy związane z syntezą lub jodowaniem tyreoglobulin (TG), będących wynikiem niedoboru TPO. Jeśli aktywność TPO nie jest normalna lub występuje jej całkowity brak, może powodować to wrodzoną niedoczynność tarczycy (Lap-Yin Pang i in. 2010).

Tlen, który stanowi główny składnik powietrza, ulega w organizmie czteroetapowej redukcji, w wyniku której powstaje cząsteczka wody. Produkty niecałkowitej redukcji cząsteczki tlenu nazwano reaktywnymi formami tlenu (RFT). Mogą być to neutralne cząsteczki lub jony oraz wolne rodniki tlenowe. Wolne rodniki tlenowe są bardzo reaktywne, szybko wchodzą w reakcje, w tym łańcuchowe. Reagują z białkami, lipidami, cukrami i kwasami nukleinowymi obecnymi w komórkach, prowadząc do powstania kolejnych produktów wolnorodnikowych. Jednym z najbardziej reaktywnych wolnych rodników jest rodnik hydroksylowy (OH•) (Boveris 1998).

Nadmierna produkcja RFT oraz wyczerpanie przez organizm rezerw antyoksydacyjnych jest zjawiskiem nazywanym „stresem oksydacyjnym”. Stres oksydacyjny prowadzi do utleniania białek, co powoduje modyfikację ich struktury i zaburzenie funkcji. Następuje też utlenianie lipidów, uszkodzenia kwasów nukleinowych, depolimeryzacja kwasu hialuronowego i gromadzenie IgG. Reaktywne formy tlenu inaktywują ponadto inhibitory proteaz, co nasila działanie proteolityczne tych enzymów na tkanki.

Nierównowaga między reaktywnymi formami tlenu a systemem obrony przeciwutleniającej, prowadząca do zwiększonego stresu oksydacyjnego, została opisana u ludzi oraz w zwierzęcych modelach niedoczynności tarczycy.

Stres oksydacyjny wynika przede wszystkim z nadmiernego wytwarzania reaktywnych form tlenu, których nie są w stanie usunąć naturalne mechanizmy naprawcze występujące w organizmie ludzkim. Mechanizmy te można wesprzeć dostarczając organizmowi substancje o działaniu przeciwutleniającym. Działanie przeciwutleniające jest cechą charakterystyczną dla związków fitochemicznych. Grupą wtórnych metabolitów roślin o szeroko udokumentowanej aktywności biologicznej mogą być związki fenolowe.

Ich skuteczność jako przeciwutleniaczy wynika z wielokierunkowej aktywności: mogą być inhibitorami reakcji wolnych rodników poprzez hamowanie tworzenia rodników lipidowych, zakłócanie propagacji reakcji autoutleniania, tłumienie singletowego tlenu, mogą działać jako czynniki redukujące nadtlenki wodoru do związków stabilnych, jako związki chelatujące jony metali przejściowych oraz jako inhibitory enzymów prooksydacyjnych (Carocho i Ferreira 2013). Uważa się zatem, że dieta bogata w żywność pochodzenia roślinnego stanowi ważny element zapobiegania chorobom cywilizacyjnym.

Przeciwutleniacze mogą działać jako czynniki redukujące nadtlenki wodoru do stabilnych związków, jako związki chelatujące jony metali przejściowych oraz jako inhibitory enzymów prooksydacyjnych (Carocho i Ferreira 2013).

Polifenole to duża grupa związków roślinnych, które można podzielić na kilka kategorii. Główne kategorie to kwasy fenolowe, flawonoidy, lignany i stilbeny. Polifenole wykazują wiele potencjalnych bioaktywności. Ponieważ ich rola nie jest w pełni zrozumiała, są one nadal przedmiotem wielu badań (Hallman i in. 2019).

Biorąc pod uwagę bioaktywne właściwości polifenoli, należy wspomnieć o ich możliwych interakcjach z matrycą pokarmową. Badania prowadzone przez Habza – Kowalską i in. (2019) wykazały odmienne działanie polifenoli w czystej postaci oraz występujących w ekstraktach roślinnych. Interakcje w bardziej złożonych mieszaninach mogą również zmienić ich dostępność do wchłaniania po spożyciu (biodostępność) oraz faktyczną ilość, którą można wchłonąć w jelicie i wykryć w osoczu (biodostępność) (Scalbert i Williamson 2000). Biodostępność polifenoli spożywczych w rzeczywistości może różnić się ilościowo i jakościowo od informacji zawartych w bazach danych żywności. Co więcej, większość badań dotyczących biodostępności polifenoli wykorzystuje głównie czyste pojedyncze cząsteczki (izolowane z żywności lub syntezowane chemicznie), chociaż ich biodostępność z całej żywności może być zasadniczo różna (Saura-Calixto i in. 2007). Ponadto aktywność związków fenolowych badanych *in vitro* (po ich izolacji z pożywienia) nie musi być zgodna z aktywnością wykazaną w organizmie ludzkim. Prostymi, tanimi i powtarzalnymi narzędziami do badania biodostępności składników żywności są modele *in vitro* oparte na fizjologii człowieka. Są szeroko stosowane do badania zmian strukturalnych, strawności i uwalniania składników pokarmowych w symulowanych warunkach przewodu pokarmowego (Oomen i in. 2002). Kombinacje różnych czystych związków bioaktywnych lub ich ekstraktów ze źródeł żywności mogą zwiększyć korzyści poszczególnych związków bioaktywnych. Ten rodzaj interakcji określa się jako synergizm. W niektórych przypadkach mieszaniny dwóch związków mogą obniżyć działanie biologiczne, np. mogą zmniejszać zdolność do usuwania wolnych rodników w porównaniu z tą zdolnością wykazywaną przez pojedyncze substancje (Williamson 2006). W przeciwieństwie do syntetycznych farmaceutyków, opartych na pojedynczych chemikaliach, wiele fitozwiązków wywiera korzystne działanie poprzez addytywne lub synergistyczne działanie kilku związków chemicznych działających w jednym lub wielu docelowych miejscach związanych z procesem fizjologicznym (Williamson 2001).

Pomimo, że synergizm związków bioaktywnych odgrywa znaczącą rolę, istnieje niewiele badań dotyczących tego zagadnienia w tak skomplikowanym systemie, jakim jest żywność. W przeciwieństwie do syntetycznych farmaceutyków opartych na aktywności pojedynczych (chemicznych) substancji czynnych, wiele związków fitochemicznych działa w korzystny sposób poprzez aktywność addytywną lub synergistyczną. Pomysł ten znalazł zastosowanie w farmakologii podczas badań nad kombinacjami kilku metabolitów w terapii wielokierunkowej (Birskin, 2000). Dieta bogata w żywność pochodzenia roślinnego jest uważana za ważny element zapobiegania chorobom cywilizacyjnym. Wiele badań epidemiologicznych wykazało, że spożywanie żywności i napojów o wysokiej zawartości polifenoli wiąże się z zapobieganiem chorobie wieńcowej, nowotworom itp. Istnieją badania wpływu fitozwiązków na aktywność innych enzymów, związanych z występowaniem stresu oksydacyjnego (Sweeney 2001). Dane uzyskane przez Gawlik – Dziki i in. (2019) wykazały wpływ czystych związków polifenolowych: kwasu chlorogenowego i ferulowego na aktywność lipoksygenazy (LOX), badania prowadzone przez Lin (2002) wykazały zdolność czystych substancji polifenolowych do hamowania oksydazy ksantynowej (XO). Jak opisano powyżej, istnieją dane literaturowe potwierdzające, że związki polifenolowe mają wpływ na aktywność enzymatyczną, lecz dane tego typu są bardzo ograniczone w przypadku wpływu czystych substancji polifenolowych na aktywność TPO, co generuje potrzebę badań obejmujących wpływ tych związków na enzym.

Metodą stosowaną do identyfikacji interakcji między związkami czynnymi jest analiza izobolograficzna. Metoda ta jest niezależna od mechanizmu aktywności; należy jednak podkreślić, że jest ona dość skomplikowana i pracochłonna. Analiza izobolograficzna jest przydatnym narzędziem do określania interakcji między składnikami mieszanin dwuskładnikowych, a także tych złożonych z ekstraktów roślinnych będących mieszaninami wielu związków aktywnych. Analiza izobolograficzna służy głównie do charakteryzowania związków farmaceutycznych. Występują trzy rodzaje interakcji między substancjami aktywnymi: synergizm, antagonizm, addycja. Synergizm oznacza, że dwa składniki wzajemnie wzmacniają swoją aktywność (wkleśła izobola), antagonizm świadczy o tym, że dwa składniki zmniejszają aktywność pojedynczego składnika (wypukła izobola), interakcję addytywną obrazuje linia prosta (Chou 2006). Dane dotyczące wpływu pojedynczych substancji, jak i ich kombinacji, na aktywność TPO są bardzo okrojone w stosunku do innych grup enzymów. Badania, które wykazały wpływ związków fitochemicznych na aktywność innych enzymów, np. oksydaza ksantynowa (XO) i lipoksygenaza (LOX) są na znacznie bardziej zaawansowanym poziomie. Badania przeprowadzone przez Gawlik-Dziki (2017) dowiodły hamującej aktywności czystych oraz występujących w pożywieniu polifenoli na aktywność XO. Podobne wyniki zostały zaobserwowane w przypadku enzymu lipoksygenazy, której aktywność była również znaczenie ograniczana przez związki polifenolowe zawarte w składnikach pokarmowych (Gawlik - Dziki i in. 2019). Dotychczasowe doniesienia naukowe, dotyczące wpływu związków polifenolowych oraz ich źródeł pokarmowych na funkcjonowanie enzymu TPO sugerują, że związki te mają zdolność do hamowania aktywności enzymu (Habza-Kowalska i in. 2019). W bardziej złożonych systemach, jakimi są surowce roślinne, wpływ substancji aktywnych oraz matrycy żywności może się różnić (Habza-Kowalska i in. 2019)

3. Podsumowanie

Hormon tarczycy peroksydaza tarczycowa (TPO) pełni bardzo istotną rolę w organizmie człowieka. Jego aktywność jest kluczowa dla prawidłowego przebiegu procesów wydzielania hormonalnego w tarczycy. Nadmiar wolnych rodników może prowadzić do wystąpienia stresu oksydacyjnego oraz zaburzeń powszechnie zwanych chorobami cywilizacyjnymi, do których można zaliczyć problemy z funkcjonowaniem tarczycy. Naturalne antyoksydanty mogą wspomóc neutralizację wolnych rodników oraz zmniejszyć tym samym stres oksydacyjny. Do naturalnych fitozwiązków będących przeciwutleniaczami należy zaliczyć m. in. związki fenolowe oraz ich interakcje z innymi składnikami żywności. Do analizy interakcji stosowana jest analiza izobolograficzna, wykazująca rodzaje interakcji pomiędzy aktywnymi składnikami oraz między tymi składnikami a matrycą żywności. Wyróżnia się trzy podstawowe interakcje: synergizm, antagonizm oraz addycję. Synergizm związków bioaktywnych odgrywa znaczącą rolę, lecz wciąż istnieje

niewiele badań dotyczących tej kwestii w tak skomplikowanym systemie, jakim jest żywność. Niezbędne jest bardziej szczegółowe badanie wpływu fitozwiązków na funkcjonowanie enzymów oraz stworzenie optymalnych połączeń w celu wywołania pożądanego wpływu na organizm ludzki.

4. Literatura

- Birskin, DP (2000) Linking plant biochemistry and physiology to human health. *Plant Physiol.* 124, 507–514.
- Boveris A (1998) Biochemistry of free radicals: from electron totissues. *Medicina (B Aires)* 58: 350-356.
- Carocho M, Ferreira ICFR (2013) A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food Chem. Toxicol.* 51, 15–25.
- Chou TC (2006) Theoretical Basis, Experimental Design, and Computerized Simulation of Synergism and Antagonism in Drug Combination Studies. *Pharmacol. Rev.* 58: 621–681.
- Gawlik-Dziki U (2012) Dietary spices as a natural effectors of lipoxygenase, xanthine oxidase, peroxidase and antioxidant agents. *LWT - Food Science and Technology* 47: 138-146.
- Gawlik-Dziki U, Bryda, J, Dziki, D et.al. (2019) Impact of Interactions between Ferulic and Chlorogenic Acids on Enzymatic and Non-Enzymatic Lipids Oxidation : An Example of Bread Enriched with Green Coffee Flour. *Applied Sciences (Switzerland)* 2: 1–12.
- Gawlik-Dziki U, Dziki D, Świeca M et al. (2017) Mechanism of action and interactions between xanthine oxidase inhibitors derived from natural sources of chlorogenic and ferulic acids. *Food Chem.* 225: 138–145.
- Habza-Kowalska E, Gawlik-Dziki U, Dziki D (2019). Mechanism of Action and Interactions between Thyroid Peroxidase and Lipoxygenase Inhibitors Derived from Plant Sources. *Biomolecules*, 9(11): 663.
- Habza-Kowalska E, Kaczor AA, Żuk J et al. (2019). Thyroid Peroxidase Activity is Inhibited by Phenolic Compounds-Impact of Interaction. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 24(15): 2766.
- Hallman E, Marszałek K, Lipowski J et al. (2019) Polyphenols and carotenoids in pickled bell pepper from organic and conventional production, *Food Chemistry*, 278: 254 – 260.
- Kessler J, Obinger C, Eales G (2008) Factors influencing the study of peroxidase-generated iodine species and implications for thyroglobulin synthesis. *Thyroid.* 18 (7): 769–74.
- Lap-Yin P, Wai-Yee C (2010) Molecular Basis, Diseases of the Endocrine System in Essential Concepts in Molecular Pathology. *Essential Concepts in Molecular Pathology* 429-440.
- Lin J (2002) Molecular modeling of flavonoids that inhibits xanthine oxidase. 294: 167–172.
- Oomen AG, Hack A, Minekus M, et al. (2002). Comparison of five in vitro digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants. *Environmental Science and Technology.* 36: 3326–3334.
- Ruf J, Carayon P (2006) Structural and functional aspects of thyroid peroxidase. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 445 (2): 269–77.
- Saura-Calixto F, Serrano J, Goñi I (2007). Intake and bioaccessibility of total polyphenols in a whole diet. *Food Chemistry* 101: 492–501.
- Scalbert A, Williamson G (2000) Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J. Nutr.* 130: 20735–20855.
- Sweeney AP, Wyllie SG, Shalliker RA et al. (2001) Xanthine oxidase inhibitory activity of selected Australian native plants. *Journal of Ethnopharmacology* 75: 273-277.
- Williamson EM (2001) Synergy and other interactions in phytomedicines. *Phytomedicine* 8: 401–409.
- Ying T, Jiankang L (2014) Cancer, Other Pathologies, Inflammation, Immunity, Infection and Aging, *Autophagy* 10: 336 – 368.

8. Właściwości antyoksydacyjne wybranych surowców roślinnych w zależności od temperatury przechowywania oraz zastosowania obróbki wysokotemperaturowej

Antioxidant properties of selected plant materials depending on storage temperature and the use of high temperature termination treatment

Habza-Kowalska Ewa, Dziki Laura

Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: prof. dr hab. Urszula Gawlik-Dziki

Habza – Kowalska Ewa: ewa.habza1@gmail.com

Słowa kluczowe: antyoksydanty, chelatowanie, polifenole, ABTS.

Streszczenie

Współczesny styl życia sprawia, że ludzie w wyższym stopniu są narażeni na szkodliwe czynniki środowiskowe. Jednym z tych czynników jest stres oksydacyjny, będący następstwem występowania nadmiaru reaktywnych form tlenu (RFT) w organizmie ludzkim, którego nie są w stanie usunąć naturalne mechanizmy naprawcze. Przewlekły stres oksydacyjny może prowadzić do powstania schorzeń zwanych chorobami cywilizacyjnymi. Aby temu zapobiec oraz znacznie ograniczyć zjawisko stresu oksydacyjnego, należy wspomagać się dietą bogatą w związki o wysokim potencjale antyoksydacyjnym. Przy doborze potraw należy również pamiętać o odpowiedniej temperaturze przechowywania oraz obróbce termicznej, która pozwala na zachowanie tych właściwości. W prezentowanym badaniu przedstawiono właściwości przeciwutleniające czerwonej kapusty oraz czerwonej cebuli i określono zmiany wartości tych parametrów zachodzące na skutek obróbki hydrotermicznej (gotowanie) oraz w trakcie przechowywania. Obydwa surowce roślinne wykazują potencjał antyoksydacyjny, ale o zróżnicowanym stopniu w zależności od zastosowanej temperatury. Biorąc pod uwagę rodzaj surowca, wyższe zdolności do zmiatania wolnych rodników ABTS miały ekstrakty sporządzone z czerwonej cebuli dla wszystkich użytych temperatur, natomiast zdolność do chelatowania jonów metali przejściowych w przypadku obydwu zastosowanych surowców kształtowała się na podobnym poziomie. Wyższą zawartość związków polifenolowych stwierdzono w próbach otrzymanych z czerwonej kapusty. Biorąc pod uwagę warunki temperaturowe, niezależnie od surowca, parametr osiągnął najwyższą wartość po gotowaniu.

1. Wstęp

W czasach współczesnych zdrowie jest często określane przez pryzmat zagrożenia wystąpienia tak zwanych chorób cywilizacyjnych. Współczesny styl życia jest często stresujący, dodatkowo niska aktywność fizyczna, niewłaściwie zbilansowana dieta, dostarczająca organizmowi zbyt dużo kalorii, a także zanieczyszczenia środowiska sprzyjają powstawaniu stanów zapalnych w organizmie ludzkim. Czynniki te promują wytwarzanie wolnych rodników i narażają ludzkie ciało na ciągłe działanie reaktywnych form tlenu (RFT), które wywołują wiele szkodliwych zmian w organizmie. Termin „reaktywne formy tlenu” obejmuje zarówno wolne rodniki (cząsteczki o niesparowanym elektronem, jak anion ponadtlenkowy ($O_2^{\cdot -}$) i rodnik hydroksylowy ($\cdot OH$), a także związki nie będące wolnymi rodnikami, takie jak nadtlenek wodoru (H_2O_2), tlen singletowy (O_2) i ozon (O_3). Reaktywne formy azotu (RNS) obejmują między innymi tlenek azotu ($\cdot NO$) i peroksynitrit ($ONOO\cdot$) powstające w reakcji $\cdot NO$ z O_2 (Grzesik i in. 2018).

W stanach homeostazy, RFT pełnią w organizmie funkcje fizjologiczne, jak udział w szlakach sygnalizacyjnych zaangażowanych w procesy proliferacji, różnicowania i apoptozy komórki. Homeostaza jest to stan równowagi pomiędzy ilością RFT a stężeniem substancji antyoksydacyjnych. Stan ten jest kontrolowany przez systemy obronne organizmu (Schieber i Chandel 2014). Konsekwencją zachwiania stanu homeostazy jest rozwój przewlekłego stresu

oksydacyjnego. Stres oksydacyjny jest to stan, w którym naturalne mechanizmy naprawcze nie są w stanie usunąć nadmiaru RFT z organizmu (Romero-González i in. 2020). Te naturalne mechanizmy można wesprzeć dostarczając organizmowi substancje o działaniu przeciwutleniającym. W ostatnich latach znacząco wzrosło zainteresowanie naturalnymi źródłami pokarmowymi o właściwościach przeciwutleniających, które zmniejszają lub zapobiegają negatywnemu wpływowi stresu oksydacyjnego na żywe tkanki oraz hamują procesy starzenia i rozwój wielu chorób. Do takich substancji można zaliczyć polifenole (Stolarzewicz i in. 2013). Polifenole lub związki fenolowe są jedną z najważniejszych i najbardziej rozpowszechnionych grup metabolitów wtórnych roślin (Losada-Barreiro i Bravo-Díaz 2017). Ich skuteczność jako przeciwutleniaczy wynika z wielokierunkowego działania: mogą być inhibitorami reakcji wolnorodnikowej poprzez hamowanie tworzenia rodników lipidowych, zakłócanie propagacji reakcji auto-utleniania łańcucha, tłumienie singletowego tlenu, mogą działać jako czynniki redukujące nadtlenki wodoru do stabilnych związków, jako związki chelatujące jony metali przejściowych i jako inhibitory enzymów prooksydacyjnych (Carocho i Ferreira 2013).

Polifenole dietetyczne zawierają szeroką gamę związków aromatycznych, które są odpowiedzialne za właściwości organoleptyczne żywności i napojów pochodzenia roślinnego. Wiele badań epidemiologicznych wykazało, że konsumpcja żywności i napojów z wysoką zawartością związków o udokumentowanych właściwościach antyoksydacyjnych wiąże się z zapobieganiem chorobie wieńcowej czy nowotworom (Williamson 2001).

W prezentowanych danych wykorzystano dwa jadalne surowce roślinne: czerwoną cebulę oraz czerwoną kapustę. Istnieją doniesienia naukowe dotyczące wpływu obróbki termicznej na różne odmiany cebuli jadalnej (Murador i in. 2016), jednak nie zawierają one danych dotyczących wpływu czasu przechowywania przy zastosowaniu obróbki wysokotemperaturowej. Dane literaturowe zawierają także zastosowanie suszenia jako formy przedłużenia trwałości żywności, a następnie przechowywania surowców w formie sproszkowanej w temperaturze -20°C , po czym określone zostały ich właściwości przeciwutleniające (Sharma i in. 2015). Zdecydowana większość dostępnych danych literaturowych skupiona jest głównie na wykazaniu ogólnych właściwości przeciwutleniających surowców roślinnych bez zastosowania zróżnicowanych warunków przechowywania lub też obróbki wysokotemperaturowej (Chu i in. 2002). Brak informacji dotyczących wpływu zróżnicowanej temperatury przechowywania, a w szczególności przechowywania przy zastosowaniu obróbki wysokotemperaturowej skłonił do przeprowadzenia doświadczenia.

Prezentowane doświadczenie miało na celu przedstawienie wpływu temperatury przechowywania oraz obróbki hydrotermicznej na zawartość związków polifenolowych i właściwości przeciwutleniające jadalnych surowców roślinnych (czerwonej kapusty oraz czerwonej cebuli).

2. Materiał i metody

Materiał badawczy stanowiły czerwona cebula oraz czerwona kapusta zakupione w lokalnym supermarkecie, przechowywane następnie przez 7 dni w różnych warunkach temperaturowych: -20°C , $+4^{\circ}\text{C}$ oraz surowce świeże gotowane, odsączone z wody i wystudzone. Jako próbę kontrolną użyto surowców świeżych w temperaturze pokojowej.

Z tak przechowywanych surowców roślinnych odważono po 0,5 g, ekstrahowano 50% etanolem i wytrząsano trzykrotnie przez 30 min. Homogenat odwirowano z prędkością $4000 \text{ obr. min}^{-1}$ przez 10 minut w temperaturze 4°C . Ekstrakcję przeprowadzono trzykrotnie, a supernatantów użyto do dalszych analiz.

Oznaczenie ogólnej zawartości związków fenolowych zostało przeprowadzone na podstawie metodyki Singleton i Rossi (Singleton i Rossi 1965). Do 0,1 ml ekstraktu dodano 0,1 ml H_2O i 0,4 ml odczynnika Folina rozcieńczonego w proporcji 1:5 z wodą. Po upływie 3 minut dodano 2 ml 10% węglanu sodu i dokładnie wymieszano. Dodatkowo wykonano próbę wzorcową, w której zamiast ekstraktu badanej próby znajdował się 50% metanol. Po upływie 30 minut zbadano absorbancję przy długości fali 725 nm wobec wzorca. Stężenie związków fenolowych odczytano z krzywej wzorcowej wyznaczonej dla kwasu galusowego i wyrażono jako ekwiwalent kwasu galusowego (GAE) w mg/ml.

Oznaczenie zdolności do chelatowania jonów metali zostało przeprowadzone według metodyki Guo i wsp. (Guo i in. 2001). 1 ml uzyskanego ekstraktu zmieszano z 20 µl 2mM FeCl₂ oraz ferrozyny, po czym mieszaninę inkubowano w temperaturze pokojowej przez 10 min. Absorbancję mierzono przy długości fali 562 nm. Kompleksy jonów Fe²⁺ z ferrozyną wykazują wysoką absorbancję. Niska absorbancja świadczy o dużej zdolności chelatowania jonów Fe²⁺ przez próbę. Zdolność chelatowania jonów metali Fe²⁺ obliczono według wzoru:

$$Z_{ch} = \left(1 - \frac{A_p}{A_k}\right) \cdot 100\%$$

gdzie:

A_k – absorbancja próby kontrolnej,

A_p – absorbancja próby badanej.

Pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Aktywność wyrażono jako EC50 (stężenie ekstraktu mg ml⁻¹) powodujące 50% zdolności do chelatowania jonów metali.

Oznaczenie aktywności antyoksydacyjnej ekstraktów z czerwonej cebuli i czerwonej kapusty wobec ABTS wykonano według metodyki Re i wsp. (Re i in. 1999). Do 1,8 ml rodnika ABTS dodano 40 µl badanej próby. Następnie mierzono spadek absorbancji po upływie 5 minut przy długości fali 734 nm. Aktywność antyoksydacyjną obliczono według wzoru:

$$AA = \frac{A_c - A_p}{A_c} \cdot 100\%$$

gdzie:

A_c - absorbancja rodnika ABTS (0,700 nm),

A_p - absorbancja próby badanej.

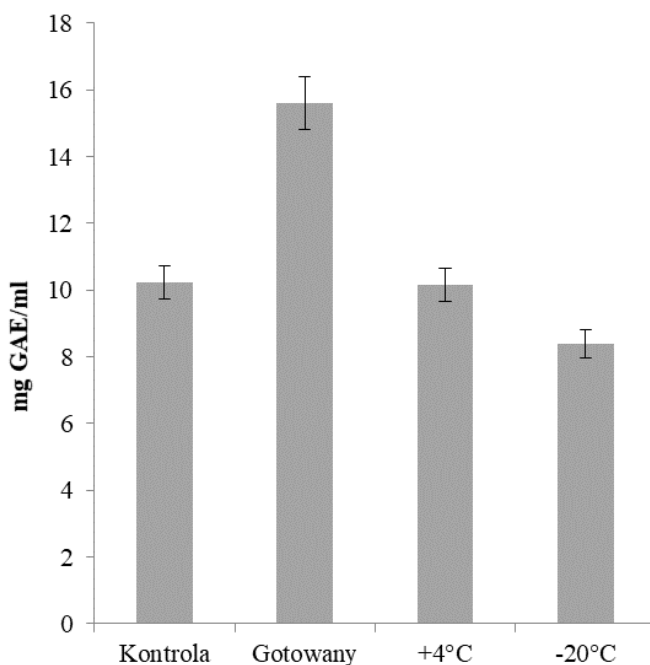
Pomiary przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Aktywność wyrażono jako EC50 (stężenie ekstraktu mg ml⁻¹) powodujące neutralizację 50% wolnych rodników ABTS.

3. Wyniki i dyskusja

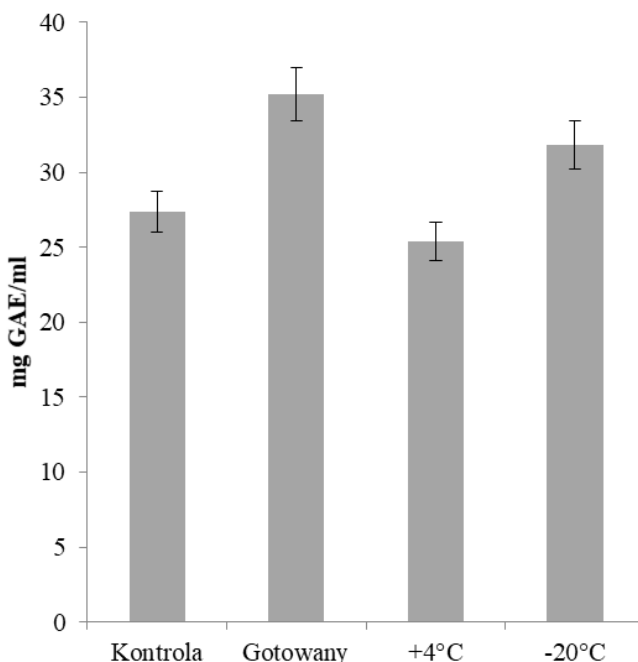
Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono zmiany zawartości związków fenolowych w ekstraktach z czerwonej cebuli i czerwonej kapusty. Uzyskana zawartość związków fenolowych różniła się w zależności od temperatury. W przypadku obydwu warzyw najwyższą zawartość tych związków odnotowano w ekstraktach z warzyw gotowanych. Zawartość została wyrażona w mg GAE/ml. W przypadku czerwonej cebuli najniższą zawartość związków fenolowych stwierdzono po przechowywaniu w temperaturze -20°C, natomiast dla czerwonej kapusty – w temperaturze +4°C. Porównując dany parametr pomiędzy warzywami można stwierdzić, że więcej związków fenolowych było zawartych w ekstraktach z czerwonej kapusty dla wszystkich analizowanych temperatur.

Jak przedstawiono na wykresach (Rys. 3 i 4), zdolność do neutralizowania wolnych rodników ABTS dla ekstraktów z czerwonej cebuli i czerwonej kapusty również zmieniała się w zależności od temperatury przechowywania oraz obróbki hydrotermicznej. Różnice były zauważalne również pomiędzy warzywami. Wyższą zdolność do neutralizacji wolnych rodników ABTS wykazywały ekstrakty z czerwonej cebuli. W przypadku cebuli najwyższą wartość dla tego parametru uzyskano w ekstrakcie z warzywa ugotowanego, natomiast najniższą w przypadku próby kontrolnej. Dla kapusty najwyższą wartość uzyskano w przypadku ekstraktu z warzywa przechowywanego w temperaturze +4°C, a najniższą - w temperaturze -20°C.

Chelatowanie to najbardziej skuteczna metoda usuwania metali ciężkich z organizmu. Związki chelatowe powstają wówczas, gdy następuje trwałe połączenie substancji organicznej z jonem metalu co najmniej dwuwartościowego. Chelatorami są często chelaty metalu o niższym powinowactwie chemicznym do liganda niż metal usuwany, w przypadku metali ciężkich – wapnia (Fernandez i in. 2002).



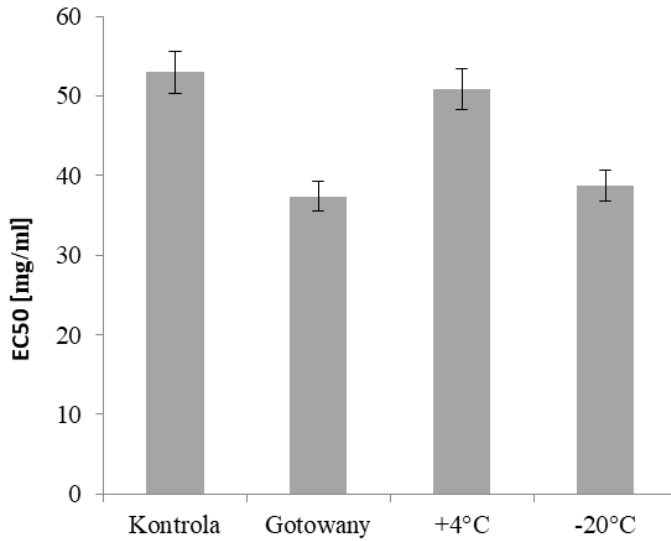
Rys. 1. Zawartość związków polifenolowych w ekstraktach z czerwonej cebuli w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.



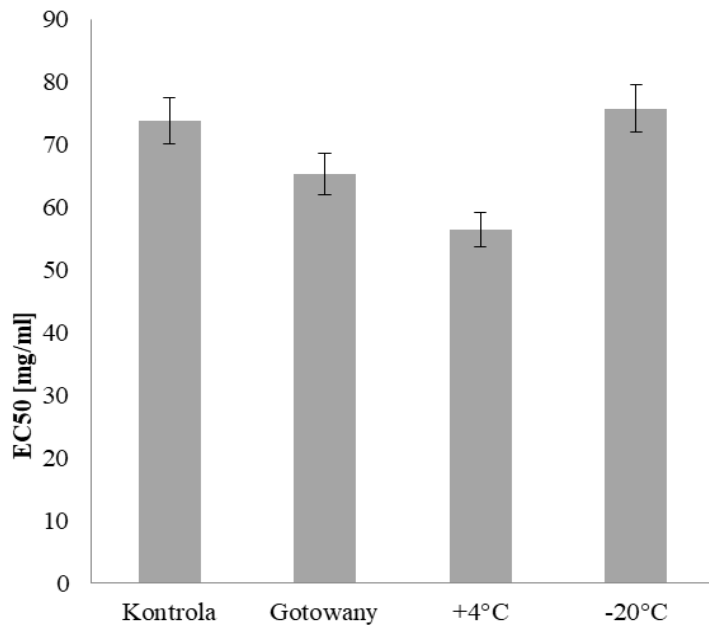
Rys. 2. Zawartość związków polifenolowych w ekstraktach z czerwonej kapusty w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.

W opisanym doświadczeniu, zarówno dla ekstraktów z czerwonej cebuli, jak i czerwonej kapusty, najwyższe wartości uzyskano dla ekstraktów sporządzonych z warzyw poddanych gotowaniu i kształtowały się one na podobnym poziomie (20,84 mg/ml – czerwona cebula, 20,53 mg/ml – czerwona kapusta). Zdolności chelatacyjne ekstraktów z czerwonej cebuli spadały wraz ze

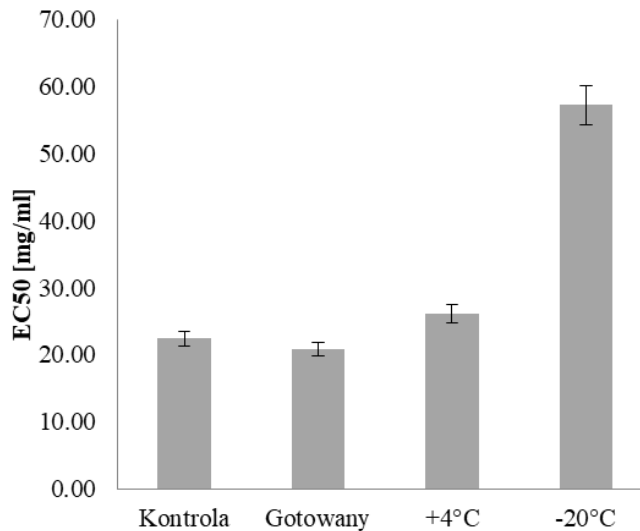
spadkiem temperatury. Dla ekstraktów z czerwonej kapusty najniższą wartość tego parametru uzyskano w temperaturze +4°C (Rys. 5 i 6).



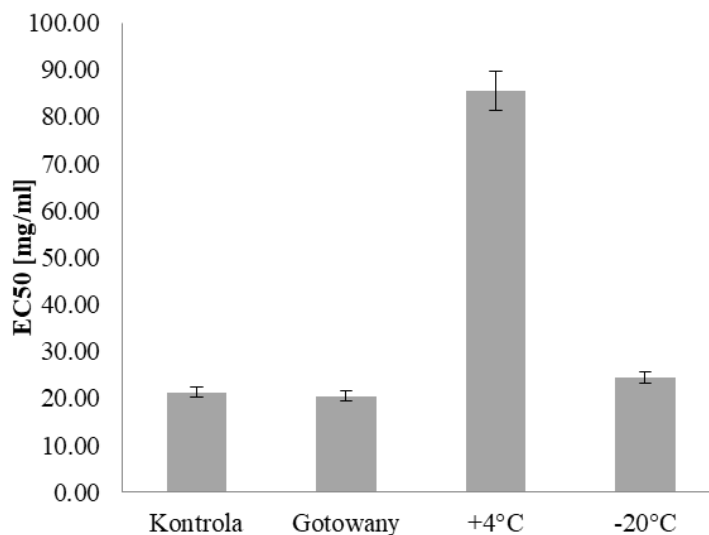
Rys. 3. Zdolność ekstraktów z czerwonej cebuli do neutralizowania wolnych rodników ABTS w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.



Rys. 4. Zdolność ekstraktów z czerwonej kapusty do neutralizowania wolnych rodników ABTS w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.



Rys. 5. Zdolność ekstraktów z czerwonej cebuli do chelatowania jonów metali ciężkich w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.



Rys. 6. Zdolność ekstraktów z czerwonej kapusty do chelatowania jonów metali ciężkich w zależności od temperatury przechowywania oraz gotowania.

4. Wnioski

- a) Bogatszym źródłem polifenoli w prezentowanym doświadczeniu okazał się ekstrakt z czerwonej kapusty w każdej temperaturze przechowywania.

- b) Proces przechowywania w różnych warunkach temperaturowych oraz poddanie warzyw obróbce hydrotermicznej miały znaczący wpływ na zawartość polifenoli oraz właściwości antyoksydacyjne sporządzonych ekstraktów.
- c) Najwyższe zdolności zmiatania wolnych rodników ABTS posiadał ekstrakt przygotowany z gotowanej cebuli.
- d) Biorąc pod uwagę zdolność do chelatowania jonów metali, w przypadku ekstraktów z cebuli, zdolność ta spadała wraz ze spadkiem temperatury przechowywania cebuli. Najwyższą wartość dla tego parametru stwierdzono w ekstraktach przygotowanych z cebuli gotowanej. Wyniki uzyskane dla ekstraktów z czerwonej kapusty wykazują znaczący spadek mierzonego parametru jedynie dla ekstraktu sporządzonego z kapusty przechowywanej w temperaturze +4°C.

5. Literatura

- Carocho M, Ferreira ICFR (2013) A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology* 51(1): 15–25.
- Chu Y-F, Sun J, Wu X, Liu RH (2002) Antioxidant and Antiproliferative Activities of Common Vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(23): 6910–6916.
- Fernandez MT, Mira ML, Florencio HM, Jennings KR (2002) Iron and copper chelation by flavonoids: an electrospray mass spectrometry study. *J Inorg Biochem.* 92: 105-111.
- Grzesik M, Bartosz G, Stefaniuk I et al. (2019) Dietary antioxidants as a source of hydrogen peroxide. *Food Chemistry*, 278: 692–699.
- Grzesik M, Napařo K, Bartosz G et al. (2018) Antioxidant properties of catechins: Comparison with other antioxidants. *Food Chemistry* 241: 480–492.
- Guo J-T, Lee H-L, Chiang S-H, Lin H-I, Chang C-Y (2001) Antioxidant properties of the extracts from different parts of broccoli in Taiwan. *Journal of Food and Drug Analysis* 9(2): 96-101.
- Losada-Barreiro S, Bravo-Díaz C. (2017) Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of Medicinal Chemistry* 133: 379–402.
- Murador DC, Mercadante AZ, de Rosso VV (2016) Cooking techniques improve the levels of bioactive compounds and antioxidant activity in kale and red cabbage. *Food Chemistry*, 196: 1101–1107.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A et al. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26: 1231-1237.
- Romero-González J, Shun Ah-Hen K, Lemus-Mondaca R et al. (2020) Total phenolics, anthocyanin profile and antioxidant activity of maqui, *Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz, berries extract in freeze-dried polysaccharides microcapsules. *Food Chemistry*, 313: 126115.
- Schieber M, Chandel NS (2014) ROS function in redox signaling and oxidative stress. *Curr. Biol.* 24: 453-462.
- Sharma K, Ko EY, Assefa AD, Ha S, Nile SH, Lee ET, Park SW (2015) Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. *Journal of Food and Drug Analysis*, 23(2): 243–252.
- Singleton VL, Rossi JA (1965) Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic – phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- Stolarzewicz IA, Ciekot J, Fabiszewska AU et al. (2013) Plant and microbial sources of antioxidants. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 67: 1359–1373.
- Williamson E. (2001) Synergy and other interactions in phytomedicines, *Phytomedicine* 8(5): 401 – 409.

9. Diety wegetariańskie w prewencji chorób cywilizacyjnych

Vegetarian diets as a prevention of lifestyle diseases

Jedut Paulina⁽¹⁾, Banach Katarzyna⁽¹⁾, Bochnak- Niedźwiecka Justyna⁽²⁾

⁽¹⁾Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Żywienia Człowieka, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

⁽²⁾Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr hab. Paweł Glibowski, profesor uczelni

Jedut Paulina: paulinajedut1@wp.pl

Słowa kluczowe: otyłość, choroby układu krążenia, cukrzyca, nowotwory, wegetarianizm

Streszczenie

Coraz bardziej popularne diety wegetariańskie w dalszym ciągu są uważane za nietypowe, a wegetarianie- za osoby dziwne lub niedożywione. Okazuje się, że diety roślinne, wykluczające mięso oraz produkty pochodzenia zwierzęcego mogą być równie zdrowe i pełnowartościowe co tradycyjna dieta z włączeniem mięsa. Dodatkowo istnieje wiele dowodów na to, że to właśnie dieta wegetariańska jest właściwsza dla ludzi, ponieważ może skutecznie zmniejszyć ryzyko wystąpienia chorób układu krążenia poprzez m.in. skuteczne obniżanie ciśnienia krwi, czy cukrzycy poprzez obniżenie poziomu cukru we krwi. Uważa się, że jest świetną alternatywą dla diet redukcyjnych stosowanych w otyłości czy nadwadze przez duże spożycie zdrowych posiłków składających się w głównej mierze z warzyw i owoców oraz produktów z niskim lub zerowym poziomem cholesterolu.

1. Wstęp

W dzisiejszych czasach dieta wegetariańska zyskała dużą popularność. Dzieje się tak z powodu wielu powodów: ekonomicznych, religijnych, kulturowych, etycznych, ekologicznych. Coraz częściej ludzie decydują się na stosowanie tego stylu życia nie tylko ze względu na ochronę zwierząt przed cierpieniem, czy ogólną troskę o środowisko, ale także z powodu korzyści zdrowotnych (Śliż i Mamcarz 2015). Wiele badań potwierdza prozdrowotne działanie diety w kierunku profilaktyki chorób układu krążenia, cukrzycy, nowotworów i wielu innych, a także przed rozwojem otyłości. Pomimo tych zalet, w niektórych kręgach dieta ta pozostaje jeszcze tematem kontrowersyjnym. Przeciwnicy uważają, że stosowanie tego sposobu żywienia będzie skutkowało niedoborami składników odżywczych, głównie białek, żelaza, wapnia, witaminy D, witaminy B12, przyczyniając się do szeregu dolegliwości oraz chorób układu kostnego i chorób neurologicznych (Śliwińska i in. 2014). Co więcej, zaznaczają, że nie powinny jej stosować kobiety w ciąży i karmiące piersią, a także dzieci i młodzież wieku rozwojowym, ponieważ takim postępowaniem naraża się płód i młodocianych na niedożywienie i nieprawidłowy rozwój. Według ekspertów, zarówno w przypadku niewłaściwie zbilansowanej diety wegetariańskiej jak i tradycyjnej występuje ryzyko niedoborów niektórych składników odżywczych, skutkując nieprawidłowym funkcjonowaniem organizmu.

2. Dieta wegetariańska

Określenie „wegetarianizm” wiąże się ze słowami: vegetare, vegetabilis, vegetator, oznaczającymi rosnąć, roślinny oraz ten, który daje życie (Śliwińska i in. 2014). Dieta wegetariańska polega spożywaniu głównie produktów pochodzenia roślinnego i odrzuceniu produktów pochodzenia zwierzęcego. Zaliczają się do nich: mięso, podroby, ryby, owoce morza. Wegetarianizm składa się z wielu odmian polegających na dopuszczeniu lub wykluczeniu z całodziennego żywienia określonych produktów (Śliż i Mamcarz 2015). Poniżej przedstawiono kilka rodzajów diety wegetariańskiej.

Istnieją również diety, które błędnie zalicza się do szeregu diet wegetariańskich. Określa się je mianem diet pseudowegetariańskich, należą do nich: ichtiwegetarianizm lub pescowegetarianizm

(dopuszczalne spożycie ryb), makrobiotyka (dopuszczalne spożycie ryb i owoców morza), pollowegetarianizm (dopuszcza spożycie drobiu) (Śliwińska i in. 2014).

Tab. 1 Klasyfikacja różnego rodzaju diet wegetariańskich (Śliwińska i in. 2014).

Rodzaj diety wegetariańskiej	Definicja
Laktoowowegetariańska	nie obejmuje mięsa, drobiu, ryb, ale pozwala jeść wszystkie inne produkty pochodzenia zwierzęcego (np. jaja, mleko, miód)
Owowegetariańska	wyklucza się dodatkowo mleko i przetwory mleczne; dopuszcza się spożywanie jaj
Wegańska	wyklucza wszystkie produkty i przetwory pochodzenia zwierzęcego
Witarianizm	podstawą tej diety jest włączenie produktów roślinnych w postaci surowej; nie dopuszcza się jakiegokolwiek obróbki termicznej powyżej 40 stopni i żywności wysokoprzetworzonej
Frutarianizm	dopuszczalne są tylko owoce

Dieta wegetariańska charakteryzuje się niższą podażą cholesterolu, tłuszczów nasyconych oraz większym spożyciem owoców, warzyw, roślin strączkowych, orzechów i produktów zbożowych (Key i in. 2006). Amerykańskie Stowarzyszenie Dietetyczne potwierdziło, że odpowiednio zaplanowana dieta wegetariańska, w tym również dieta wegańska mogą zapewnić korzyści zdrowotne poprzez zapobieganie i leczenie niektórych chorób. Stowarzyszenie wyraża stanowisko, że wspomniane diety są odpowiednie dla osób na wszystkich etapach życia, również dla kobiet w ciąży oraz w trakcie laktacji, ale również dla dzieci, młodzieży i sportowców (Craig 2009a).

Aby dieta wegetariańska była odpowiednio zbilansowana, powinna zawierać następujące produkty: produkty zbożowe, warzywa, rośliny strączkowe, owoce oraz małe ilości orzechów, pestek, olejów i w zależności od rodzaju stosowanej diety pokarmy zwierzęce (Stolińska 2015).

Podczas stosowania diety wegetariańskiej należy pamiętać o tłuszczach, ponieważ w nich rozpuszczane są witaminy: A, D, E, K. Warto zwrócić szczególną uwagę na kwasy tłuszczowe omega-3. Dieta wegetariańska, a w szczególności wegańska odznacza się niską podażą EPA i DHA wraz z pożywieniem w porównaniu do diety tradycyjnej (Lane i in. 2014). Dieta wegetariańska charakteryzuje się mniejszą zawartością kwasu linolenowego, a wyższą kwasu linolowego. Przyczyną jest duże spożycie orzechów, pestek, olejów roślinnych oraz margaryn. Co więcej stosunek kwasów omega 6 do omega 3 jest jeszcze wyższy, z powodu niewielkiej ilości lub całkowitego braku ryb, nabiału i jaj w codziennym jadłospisie. W celu zmniejszenia podaży ALA, należy spożywać siemię lniane, olej rzepakowy, lniany, sojowy, orzechy włoskie, przetwory sojowe, algi morskie oraz zielone warzywa liściaste. Podaż tych produktów skutkuje zwiększeniem biodostępności omega-3 (Stolińska 2015).

3. Dieta wegetariańska a choroby sercowo- naczyniowe

Od wielu lat choroby układu krążenia stanowią główną przyczynę zgonów nie tylko polskiej populacji, ale również całego świata. W samej Unii Europejskiej każdego roku z powodu chorób układu krążenia umiera ok. 2 milionów ludzi. Większość schorzeń sercowo- naczyniowych została zainicjowana długotrwałym i nieleczonym nadciśnieniem tętniczym, które prowadzi do udaru mózgu, tętniaka aorty, choroby niedokrwiennej serca. Do rozwoju nadciśnienia tętniczego przyczynia się nieprawidłowy styl życia, spożywanie alkoholu, palenie tytoniu, stres, brak aktywności fizycznej, otyłość, dieta bogata w sól, tłuste produkty pochodzenia zwierzęcego oraz dieta uboga w owoce i warzywa (Gibała i Janowski 2016).

Przeprowadzono wiele badań potwierdzających wpływ hipo- lub hipertensyjny różnych diet. Śliż i in. 2016 w swojej pracy podali wartości o jakie dieta bezmięсна może obniżyć ciśnienie tętnicze, nawet w przypadku zdrowych osób- uważa się że jest to spadek o ok. 6 mm Hg ciśnienia skurczowego

i 2 mm Hg rozkurczowego . Ho i in. 2017 potwierdzili tę tezę. Przeprowadzili badanie na 269 Tajwankach powyżej 40 roku życia, u których nie zdiagnozowano nadciśnienia tętniczego. Przygotowali bardzo szczegółową ankietę dotyczącą stanu zdrowia i stylu życia, w której kobiety podzielili na dwie grupy- owowegetarianki i mięsożerne. Po wnikliwych obserwacjach wykazali, że owowegetarianki charakteryzowały się znacznie niższym ciśnieniem skurczowym i rozkurczowym. Co więcej Amerykańskie Towarzystwo Dietetyczne podkreśla, że jeszcze rzadsze epizody podwyższonego ciśnienia tętniczego w porównaniu do wegetarian miewają weganie (Craig 2009b). Ta grupa osób charakteryzuje się niskim poziomem nasyconych i jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, cholesterolu LDL, wyższym poziomem błonnika, kwasu askorbinowego, kwasu foliowego, potasu i magnezu. Śliż i in. 2016 opisali badanie, w którym 29 pacjentów borykających się z nadciśnieniem tętniczym stosowało dietę wegańską przez około 8 lat. Okazało się, że w przypadku większości chorych już po roku można było zrezygnować z leczenia farmakologicznego . Istnieje wiele badań potwierdzających, że stosowanie diety wegetariańskiej zmniejsza ryzyko rozwoju chorób układu krążenia oraz ryzyko incydentów sercowo- naczyniowych. Huang i in. 2012 sporządzili metaanalizę siedmiu badań kohortowych przeprowadzonych w Niemczech, Holandii, Wielkiej Brytanii, Stanach Zjednoczonych oraz Japonii. Badania przeprowadzono na łącznie 124 706 uczestnikach, z czego część osób stanowili laktoowegetarianie i weganie. Wykazano, że śmiertelność z powodu chorób układu krążenia była o 16% mniejsza u wegetarian w porównaniu do wszytkożerców. W przypadku choroby niedokrwiennej serca wegetarianie charakteryzowali się znacznie niższą śmiertelnością.

Dieta wegetariańska jest uboga w nasycone kwasy tłuszczowe oraz we frakcje trans, a ich wysokie spożycie przyczynia się do problemów sercowo- naczyniowych. Wegetarianie w porównaniu do nie wegetarian spożywają więcej owoców i warzyw. Warzywa i owoce tj.: jabłko, cebula, grejpfrut, brokuł, jagody, oliwki, sałata, pomidor, czerwona papryka itd. dostarczają wiele antyoksydantów: alfa- tokoferol, kwas askorbinowy, flawonoidy oraz karotenoidy, w tym likopen, luteinę, beta- karoten i zeaksantynę. Związki te hamują utlenianie frakcji cholesterolu LDL, stymulują frakcję HDL oraz obniżają stężenie cholesterolu całkowitego (Craig 2009a).

Warto, aby dobrze zbilansowana dieta wegetariańska była brana pod uwagę podczas leczenia schorzeń układu krążenia. Dieta ta nie tylko pomaga w leczeniu, ale również może być stosowana w celu ich zapobiegania.

4. Dieta wegetariańska zmniejsza ryzyko wystąpienia cukrzycy

Cukrzyca definiowana jest jako choroba metaboliczna. Z powodu zaburzeń wydzielania i lub działania insuliny dochodzi do przewlekłej hiperglikemii. Według danych obecnie na cukrzycę choruje ponad 3 mln Polaków, z czego ok. 750 tys. nie jest tego świadomych. Choroba ta znacznie częściej dotyka osoby po 60 r. ż. Już co czwarty senior choruje na cukrzycę. Czynnikiem wpływających na rozwój cukrzycy jest wiele, począwszy od czynników genetycznych, środowiskowych, a na czynnikach indywidualnych, które można zmodyfikować kończąc (Szewczyk i in. 2011). Do tych zmiennych przyczyn należy nieprawidłowy styl życia oraz sposób odżywiania. Spożywanie produktów wysokokalorycznych, bogatych w cukry proste, cholesterol, kwasy tłuszczowe nasycone, a ubogie w warzywa i owoce prowadzi ku otyłości i w konsekwencji do rozwoju cukrzycy typu II (Kłosiewicz- Latoszek i Cybulska 2011).

Istnieje wiele badań potwierdzających rzadsze zachorowania na cukrzycę typu II wśród wegetarian w porównania do wszytkożerców. Trapp i Levin 2012 w swojej pracy przytoczyli wyniki dwóch badań kohortowych, przeprowadzonych na łącznie ponad 86 000 Amerykanach. Wykazali, że częstość występowania cukrzycy typu II wśród wegetarian lub wegan była o połowę niższa w porównaniu do nie wegetarian. Co więcej udowodniono korelację pomiędzy zwiększonym spożyciem czerwonego mięsa i przetworzonych produktów mięsnych, a częstością wystąpienia cukrzycy typu II (Fung i in. 2004). Od dawna wiadomo, że diety opierające się głównie na roślinach, wspomagane aktywnością fizyczną mogą pozytywnie wpłynąć na poprawę glikemii (Trapp i Levin 2012).

W Stanach Zjednoczonych w latach 2003- 2005 przeprowadzono badanie stwierdzające, że niskotłuszczowa dieta wegańska poprawia kontrolę glikemii. W badaniu wzięło udział 99

Amerykanów, z czego 49 zostało losowo przydzielonych do diety wegańskiej. Pozostali uczestnicy stanowili grupę kontrolną, pozostającą na diecie opartej według wytycznych Amerykańskiego Stowarzyszenia Diabetologicznego (ADA). Po 22 tygodniach badania okazało się, że w obu grupach nastąpiła poprawa. Wśród 43% osób stosujących dietę wegańską oraz u 26% osób będących na diecie według wytycznych ADA, zapotrzebowanie na leki zmniejszyło się. Po około półtora roku od rozpoczęcia badania znaczna poprawę glikemii zaobserwowano wśród wegan (Barnard i in. 2006). Dieta wegetariańska jest bogata w warzywa i owoce. Znajdujące się w nich związki redukują stres oksydacyjny oraz chroniczne stany zapalne. Weganie konsumują ok. 650 g warzyw i owoców na dobę. Jest to o 1/3 więcej w porównaniu do osób będących na tradycyjnej diecie. Dowody wskazują na to, że taki styl odżywiania wiąże się z zahamowaniem cukrzycy typu 2. Większe spożywanie warzyw, produktów zbożowych z pełnego przemiału, warzyw strączkowych oraz orzechów zmniejsza ryzyko wystąpienia insulinooporności i cukrzycy oraz pozwala zachować odpowiedni poziom glukozy we krwi u osób zdrowych lub już chorujących (Craig i in. 2009b).

Uważa się, że diety wegetariańskie tak dobrze wpływają na poziom glikemii, ponieważ w porównaniu z innymi dietami w większym stopniu wpływają na redukcję masy ciała (Śliz i in. 2016). Kahleova i in. 2011 przeprowadzili badanie na 74 cukrzykach. Podzielili uczestników na dwie grupy-jedną stanowiła grupa kontrolna, w której badani otrzymywali dietę odpowiednią dla cukrzyków, natomiast druga otrzymywała posiłki diety wegetariańskiej. W obu grupach dokonano redukcji dziennego zapotrzebowania energetycznego o 500 kcal/ dzień. Posiłki były przygotowywane odgórnie przez zespół badawczy. Po 12 tygodniach zalecono dodatkowo uprawianie aerobiku jako aktywności fizycznej. Po ukończeniu badań okazało się, że 43% uczestników z grupy badanej oraz 5% uczestników z grupy kontrolnej zmniejszyło ilość przyjmowanych leków. Doszło do znacznej redukcji masy ciała wśród osób będących na diecie wegetariańskiej, dzięki utracie trzewnej tkanki tłuszczowej. Widoczna również była podwyższona wrażliwość na insulinę w grupie badanej. Podczas stosowania diety wegetariańskiej zachodzą mechanizmy, które niosą za sobą pozytywne oddziaływanie na cukrzyków. Wysokie spożycie błonnika, niska podaż nasyconych i wysoka wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, większa podaż niehemowego żelaza, większe spożycie białka roślinnego zamiast białka pochodzenia zwierzęcego, wyższy poziom antyoksydantów oraz steroli roślinnych wpływa na obniżenie poziomu adipokin oraz markerów stresu oksydacyjnego.

Stosowanie przez cukrzyków diet wegetariańskich może być alternatywną dla diet cukrzycowych. W połączeniu z aktywnością fizyczną mogą efektywniej zwiększyć wrażliwość na insulinę czy obniżyć zawartość tkanki tłuszczowej. Stosowanie diet wegetariańskich jest tym bardziej uzasadnione, gdy istnieją dowody potwierdzające nawet zmniejszenie przyjmowania leków przez chorych pacjentów.

5. Dieta wegetariańska kontra otyłość

Według Światowej Organizacji Zdrowia otyłość zaliczana jest do epidemii (Kłosiewicz-Latoszek 2010). Z badań przeprowadzonych na 14685 Europejczykach z 16 krajów (w tym z Polski) wynika, że prawie połowa badanych cierpiała na nadwagę lub otyłość. Ten długotrwały stan skutkuje rozwojem wielu chorób: nadciśnieniem tętniczym, miażdżycą, cukrzycą typu II, nowotworami, zaburzeniami płodności itp. Zazwyczaj rozwój otyłości wiąże się z nadmiernym przyjmowaniem pokarmów. Są to najczęściej pokarmy wysoko przetworzone, wysokokaloryczne, ubogie w warzywa i owoce oraz błonnik.

Uważa się, że ubogo tłuszczowe, dobrze zbilansowane diety wegetariańskie charakteryzują się niższą kalorycznością, dzięki czemu pozwalają na większe nasycenie (Śliz i in. 2016). Dzięki stosowaniu diet roślinnych dostarczanie nasyconych kwasów tłuszczowych i cholesterolu jest znacznie mniejsze, powodując utrzymanie prawidłowej masy ciała. Dodatkowo umożliwiają znaczną redukcję masy ciała bez zmniejszenia zapotrzebowania energetycznego (co dotyczy diet niskoenergetycznych), nawet jeśli aktywność fizyczna nie jest uprawiana systematycznie (Barnard i in. 2005; Barnard i in. 2006). Już w latach 90- tych udowodniono tę zależność. Nicholson i in. 1999 przeprowadzili badanie na małej grupie osób chorujących na cukrzycę. Zostali oni odpowiednio poinstruowani, aby nie zmieniali swoich przyzwyczajeń związanych z aktywnością fizyczną. Głównie oparli się na wprowadzeniu na 12 tygodni niskotłuszczowej diety wegetariańskiej (tłuszcz

stanowił 10% dziennego zapotrzebowania energetycznego). Po zakończeniu badania wykazano, że redukcja masy ciała badanej grupy wynosiła ok. 7,2 kg, natomiast w grupie kontrolnej, która stosowała się do zaleceń American Diabetes Association jedynie 3,8 kg.

Podobne badanie przeprowadzono na otyłych kobietach po menopauzie. Zalecono im stosowanie niskotłuszczowej diety wegańskiej bez uprawiania aktywności fizycznej. Po dwóch latach badań wyniki były pozytywne. Mediana wypadkowej redukcji masy ciała wynosiła po roku 4,9 kg, a po dwóch latach - 3,1 kg. Warto zaznaczyć, że ubytek masy ciała wśród kobiet stosujących dietę w oparciu o National Cholesterol Education Program nie był tak imponujący (Barnard i in. 2005).

Badania potwierdzające wyższe BMI wśród osób spożywających produkty pochodzenia zwierzęcego przeprowadzono na 97 000 Adwentystach, zamieszkujących Stany Zjednoczone oraz Kanadę. Zebrano od nich informacje na temat sposobu odżywiania, aktywności fizycznej, stylu życia oraz środowiska w jakim zamieszkują. Co więcej, badane osoby można było podzielić według stosowanej diety na: wegan, laktoowovegetarian, peskovegetarian, semiwegetarian oraz osoby nie stosujące żadnej z diet wegetariańskich. Badacze udowodnili progresywny wzrost BMI wśród osób spożywających produkty pochodzenia zwierzęcego. Najniższym wskaźnikiem BMI charakteryzowali się weganie (Tonstad i in. 2009).

Berkow i Barnard 2006 odszukali 40 badań dotyczących tematu masy ciała i BMI wegetarian oraz niewegetarian. Aż w 29 badaniach opisano redukcję masy ciała i/lub obniżony wskaźnik BMI wśród wegetarian w porównaniu do nie-wegetarian. W pozostałych 11 badaniach nie wykazano tej samej zależności. Wśród nich, w 2 badaniach wręcz odwrotnie wykazano, że w porównaniu do osób spożywających mięso, wegetarianie charakteryzowali się wyższą masą ciała i wskaźnikiem BMI.

Diety wegetariańskie są bogate w węglowodany, produkty o niskim indeksie glikemicznym, w błonnik. Charakteryzują się niższą kalorycznością, zawartością białka, tłuszczu całkowitego, cholesterolu, nasyconych kwasów tłuszczowych, ale i wysoką zawartością wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (Berkow i Barnard 2006). Dzięki temu mogą wspomóc walkę z już istniejącą otyłością, ale również chronić przed jej wystąpieniem.

6. Podsumowanie

Dieta wegetariańska, pomimo tego że z roku na rok staje się popularniejsza, wciąż budzi kontrowersje. Okazuje się jednak, że właściwie stosowana może przynieść niezwykle korzyści zdrowotne oraz zmniejszać ryzyko zachorowalności na poważne jednostki chorobowe. Niezwykle istotny jest fakt, żeby taka dieta była właściwie zbilansowana i dostarczała wszystkich niezbędnych składników odżywczych i mineralnych. Warto więc propagować stosowanie diety roślinnej, ponieważ może ona zmniejszyć liczebność zachorowań na choroby cywilizacyjne naszych czasów.

7. Literatura

- Barnard ND, Scialli AR, Turner- Mcgrievy G, Lanou AJ, Glass J (2005) The effects of a low-fat, plant-based dietary intervention on body weight, metabolism, and insulin sensitivity. *American Journal of Medicine*, 118, 991-997.
- Barnard ND, Cohen J, Jenkins DJA, Turner- Mcgrievy G, Gloede L, Jaster B, Seidl K, Green AA, Talpers S (2006) A low-fat vegan diet improves glycemic control and cardiovascular risk factors in a randomized clinical trial in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Care*, 29 (8), 1777-1783.
- Berkow SE, Barnard N (2006) Vegetarian diets and weight status. *Nutrition Reviews*, 64 (4), 175-186.
- Craig WJ (2009a) Health effects of vegan diets. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89, 1627-1633.
- Craig WJ (2009b) Position of the American Dietetic Association Vegetarian Diets. *Journal of the American dietetic association*, 109 (7), 1266-1282.
- Fung TT, Schulze M, Manson JE, Willet WC, HU FB (2004). Dietary Patterns, Meat Intake, and the Risk of Type 2 Diabetes in Women. *Archives of Internal Medicine*, 164, 2235-2240.

- Gibała M, Janowski GJ (2016). Znaczenie diety w prewencji oraz wyrównaniu nadciśnienia tętniczego. *Choroby Serca i Naczyń*, 13 (4), 265-270.
- Ho CP, Yu JH, Lee TJJ (2017). Ovo- vegetarian diet is associated with Lower systemic blood pressure in Taiwanese women. *Public Health*, 153, 70-77.
- Huang T, Yang B, Zheng J, Li G, Wahlqvist ML (2012) Cardiovascular disease mortality and cancer incidence in vegetarians a meta- analysis and systematic review. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 60, 233-240.
- Kahelova H, Matoulek M, Malinska H, Oliyarnik O, Kazdova L, Neskudla T, Skoch A, Hajek M, Hill M, Kahle M, Pelikanova T (2011) Vegetarian diet improves insulin resistance and oxidative stress markers more than conventional diet in subjects with Type 2 diabetes. *Diabetic Medicine*, 28, 549-559.
- Key TJ, Appleby PN, Rosell MS (2006) Health effects of vegetarian and vegan diets. *Proceedings of the Nutrition Society*, 65 (1), 35-41.
- Kłosiwicz- Latoszek L, Cybulska B (2011) Cukier a ryzyko otyłości, cukrzycy i chorób sercowo-naczyniowych. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 92 (2), 181-186.
- Lane K, Derbyshire E, Li W, Brennan C (2014) Bioavailability and potential uses of vegetarian sources of omega-3 fatty acids: a review of the literature. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (5), 572-579
- Nicholson AS, Sklar M, Barnard ND, Sarojini G, Sullivan R, Browning S (1999) Toward improved management of NIDDM a randomized, controlled, pilot intervention using a low- FAT, vegetarian diet. *Preventive medicine*, 29, 87-91.
- Stolińska H (2015) Prawidłowe bilansowanie diet wegetariańskich. *Polish Journal of Nutrition*, 1 (1), 35- 43.
- Śliwińska A, Olszówka M, Pieszko M (2014) Ocena wiedzy na temat diet wegetariańskich wśród populacji trójmiejskiej. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 86, 133-146.
- Śliż D, Mamcarz A (2015) Czy leczyć statynami wegetarian? *Kardiologia po Dyplomie*, 14 (7) 15-18.
- Śliż D, Zgliczyński WS, Szeligowska J, Rostkowska O, Pinkas J(2016) Modyfikacja zwyczajów żywieniowych w prewencji chorób cywilizacyjnych. *Postępy Nauk Medycznych*, 29 (5), 344-349.
- Trapp C, Levin S (2012) Przygotowanie do zalecenia diet opartych na produktach roślinnych w celu zapobiegania i leczenia cukrzycy. *Diabetologia po Dyplomie*, 9 (2), 33-40.

10. Charakterystyka wybranych składników wspomagających proces odchudzania

Characteristics of selected components supporting weight loss process

Kapusta-Duch Joanna

Katedra Żywienia Człowieka i Dietetyki, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Kapusta-Duch Joanna: joanna.kapusta-duch@urk.edu.pl

Słowa kluczowe: błonnik pokarmowy; zielona herbata; kwas hydroksycytrynowy; guarana; CLA

Streszczenie

Otyłość jest poważnym problemem zdrowia publicznego. Nadmierna masa ciała implikuje wiele poważnych skutków zdrowotnych i jest czynnikiem chorób przewlekłych. Na rynku suplementów diety obecnych jest wiele preparatów zawierających składniki, których działanie, według deklaracji producentów, polega m.in. na zmniejszeniu łaknienia, hamowaniu wchłaniania składników odżywczych, regulacji procesów trawienia, przyspieszeniu przemiany materii oraz spalania tkanki tłuszczowej. W niniejszej pracy opisano najczęściej wykorzystywane składniki pochodzenia roślinnego.

1. Wstęp

Otyłość jest chorobą o złożonej etiologii. Zarówno Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), jak i IOTF (International Obesity Task Force) prognozują, że w 2025 ponad połowa mieszkańców Wielkiej Brytanii, Stanów Zjednoczonych, czy Australii będzie otyła. Takie ryzyko dotyczy również naszego kraju. Automatyzacja, mechanizacja, rozwój ekonomiczny, ale przede wszystkim nadmierna podaż żywności, przy jednoczesnej niskiej aktywności fizycznej, sprzyjają rozwojowi otyłości.

2. Opis zagadnienia

Środki wspomagające proces odchudzania, a dostępne bez recepty, cieszą się niesłabnącą popularnością. W ich skład wchodzi substancje, których zadaniem jest pomoc w redukcji tkanki tłuszczowej. Środki te charakteryzują się różnym mechanizmem działania. Producenci zapewniają, że m.in. przyspieszają przemianę materii, zmniejszają łaknienie, hamują wchłanianie składników odżywczych, regulują procesy trawienia oraz pomagają w spalaniu tkanki tłuszczowej.

1. Przegląd literatury

Kwas hydroksycytrynowy (HCA) naturalnie występuje w owocu tamaryndowca malabarskiego (*Garcinia cambogia*). Substancja ta jest inhibitorem enzymu, który katalizuje konwersję koenzymu A do acetylo-koenzymu A. Związek ten natomiast jest niezbędny do syntezy kwasów tłuszczowych, triacylogliceroli oraz cholesterolu. W procesie trawienia cukry są rozkładane do glukozy, której nadwyżka jest przekształcana w glikogen magazynowany w wątrobie i mięśniach. Gdy ilość glikogenu jest zbyt duża, wówczas jego pozostała część jest przekształcana w tkankę tłuszczową przy pomocy enzymu lipazy cytrynianowej ATP. Kwas hydroksycytrynowy hamuje proces lipogenezy. HCA wpływa na syntezę i magazynowanie glikogenu w wątrobie, dając uczucie sytości (Waszkiewicz-Robak i in. 2007).

2.1 Preparaty wpływające na termogenezę

Preparaty wpływające na termogenezę to substancje stymulujące przemianę materii. Prototypem jest tutaj przęśl (*Ephedra sp.*) zawierająca efedrynę. Związek ten inicjuje wzrost termogenezy przez pobudzenie UCP (*uncoupling protein II i III*) w mięśniach i tkance tłuszczowej. Wyciąg z przęśli ma działanie synergistyczne, w stosunku do związków kofeinopodobnych. W Stanach Zjednoczonych popularnością cieszyły się preparaty zawierające ekstrakt z przęśli w połączeniu z wyciągiem z guarany, będącej bogatym źródłem kofeiny. Jednak ze względu na szkodliwe działania uboczne, preparaty takie nie zyskały aprobaty w krajach europejskich. Wśród

szkodliwego działania można wymienić: bóle głowy, nadciśnienie, zaburzenia rytmu serca, zawały serca, udary mózgu oraz drgawki (Kania i in. 2013). Pokrzywa indyjska (*Coleus forskohlii*) jest substancją wpływającą na przemianę materii. Korzenie tej rośliny zawierają znaczną ilość forskoliny, dwuterpenu, inicjującego cykliczny adenozylo-3',5'-monofosforan (cAMP). Forskolina przyczynia się do obniżenia tętniczego ciśnienia krwi oraz rozkurczenia naczyń krwionośnych. Związek ten wykazuje działanie spazmolityczne oraz broncholityczne. W tym przypadku mechanizm działania powiązany jest z hamowaniem fosfodiesterazy. Przypuszcza się, że powyższy mechanizm odpowiedzialny jest również za działanie termogenetyczne. Kolejnym mechanizmem działania, związanym z obniżeniem masy ciała po przyjmowaniu tego związku jest aktywacja UCP (*uncoupling proteins*), w efekcie zwiększenia aktywności cyklicznego AMP. Działanie forskoliny jest podobne do efedryny, z wyjątkiem skutków ubocznych, ponieważ związek ten nie oddziałuje bezpośrednio na receptory adrenergiczne (Mitra i in. 2020). Gorzka pomarańcza (*Citrus aurantium* L.) jest to roślina zwiększająca termogenezę organizmu. Zawiera w swoim składzie synefrynę – substancję podobną do efedryny, lecz pozbawioną jej działań ubocznych. Potwierdzenie korzystnego wpływu gorzkiej pomarańczy na zmniejszenie masy ciała wymaga jednak dalszych badań. Roślina ta może zwiększać ryzyko wystąpienia działań ubocznych niektórych leków, takich jak: leków przeciwnadciśnieniowych, antydepresyjnych, statyny i sibutraminy (Respondek i Jarosz 2004). Guarana (*Paullinia cupana*) jest to gatunek pnącza charakteryzujący się wysoką, naturalną zawartością kofeiny. Czyste nasiona guarany zawierają od 2,5 do 7,5% kofeiny. Ze względu na zawartość tej substancji, guarana wykazuje właściwości zwiększające przemianę materii. Należy jednak zwrócić uwagę, że może także wywoływać działania uboczne – podwyższać ciśnienie krwi, powodować niepokój oraz kołatanie serca. Nie wiadomo również jakie są interakcje guarany z lekami (Kania i wsp. 2013; Respondek i Jarosz 2004).

2.2 Substancje błonnikowe

Najbardziej znane i najczęściej wykorzystywane substancje błonnikowe to: glukomannan, ksantan, psyllium, galaktomannan, beta glukany, agar-agar, pektyny, wyciąg z fasoli, alg i buraków cukrowych. Mechanizm działania substancji włóknikowych jest związany z ich zdolnością do absorbowania wody (hydrofilne substancje błonnikowe), co wiąże się z ich powiększeniem objętości. Zdolność do pęcznienia jest wprost proporcjonalna do lepkości poszczególnych preparatów (Wirkijowska i in. 2016). Lepkość bardzo dobrze współgra z efektami anorektycznymi, które zmniejszają łaknienie, jak i korzystnymi efektami metabolicznymi wykazywanymi przez dane substancje błonnikowe. Największą zdolnością wiązania wody charakteryzują się glukomannany. Zwiększające swoją objętość substancje błonnikowe wypełniają nie tylko żołądek, ale również pokrywają ściany górnego odcinka przewodu pokarmowego, co ogranicza dyfuzję i wchłanianie glukozy. Ponadto substancje błonnikowe mają zdolność do wiązania kwasów żółciowych, co utrudnia ich resorpcję zwrotną, co w rezultacie prowadzi do zmniejszenia poziomu cholesterolu (Krotkiewski 2002; Waszkiewicz-Robak i in. 2007). Hydrofilowe substancje błonnikowe są częściowo metabolizowane przez mikroorganizmy bytujące w dolnym odcinku przewodu pokarmowego, co w konsekwencji prowadzi do syntezy krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, w szczególności kwasu propionowego oraz masłowego. Zwiększone wytwarzanie propianów wpływa na obniżenie produkcji trójglicerydów w wątrobie oraz zmniejszenie ciśnienia tętniczego krwi. Takie działanie najsilniej wykazują oligosacharydy. Związki te są idealną pożywką dla rozwoju bakterii kwasu mlekowego, a wyprodukowane w wyniku ich działania sole kwasu propionowego obniżają syntezę leptyny i angiotensyny w komórkach tłuszczowych. Oddzielną grupę substancji błonnikowych zajmują składniki niektórych gatunków alg, jak np.: *Ascophylum nodosum*, *Laminaria digitata*. Bardzo mocne działanie wykazują także ekstrakty z alg, czyli sole kwasu alginowego. Związki te posiadają zdolność do wymiany jonowej. Do ich prozdrowotnych właściwości należy zaliczyć obniżanie skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi (Krotkiewski 2002). Duże zastosowanie w leczeniu otyłości znajduje substancja błonnikowa, glukomannan. Jest to związek rozpuszczalny w wodzie, otrzymywany z rośliny *Amorphophallus konjac*. Glukomannan posiada wysoką lepkość w roztworze wodnym, nie ulega trawieniu przez enzymy przewodu pokarmowego człowieka, ale jest rozkładany przez bakterie bytujące w jelicie grubym. Inulina jest to oligosacharyd oporny na działanie

enzymów przewodu pokarmowego człowieka, stanowiący rodzaj włókna pokarmowego. Związek ten jest pozyskiwany z korzeni cykorii. W przemyśle spożywczym inulina wykorzystywana jest jako wypełniacz lub zamiennik tłuszczu. Obniża wartość energetyczną produktu, przy jednoczesnym zachowaniu jego cech sensorycznych. Substancja ta może być zaliczana do prebiotyków, ponieważ stymuluje rozwój korzystnej mikroflory bakteryjnej w jelicie grubym (inulina jest dobrą pożywką dla bakterii kwasu mlekowego). Substancja ta obniża poziom trójglicerydów i cholesterolu we krwi (Karwowska i Majchrzak 2013; Waszkiewicz-Robak i in. 2007). Guma ksantanowa (xanthan gum) jest rodzajem włókna spożywczego cechującego się silnymi właściwościami pęczniającymi i żelifikującymi. Związek ten zwiększa lepkość pokarmu, jednocześnie nie zmieniając jego osmolalności i pH. W leczeniu otyłości często wykorzystywana są również hydrofobowe substancje błonnikowe jak np. płatki owsiane czy otręby a także częściowo hydrofobowe, np. *psyllium* i pektyny. Preparaty te używane są jako środki pomocnicze mające na celu zmniejszenie zaparć, które bardzo często towarzyszą osobom stosującym dietę niskokaloryczną. Dolegliwości te spowodowane są zmniejszoną objętością mas kałowych występujących w procesie odchudzania. W jelicie grubym substancje błonnikowe o charakterze hydrofobowym zostają poddane częściowej fermentacji, co skutkuje zwiększeniem objętości mas kałowych (Krotkiewski 2002).

2.3 Zielona herbata

Zielona herbata pozyskiwana jest z rośliny *Camellia sinensis*. Jej produkcja różni się od produkcji herbaty czarnej tym, że jej liście nie są poddawane fermentacji, lecz działaniu pary, a później procesowi suszenia. Dzięki temu zielona herbata zachowuje wysoką aktywność polifenoli - związków, o działaniu antyoksydacyjnym (Waszkiewicz-Robak i in. 2007). W liściach zielonej herbaty znajdują się głównie polifenole, takie jak katechiny, epigallokatechiny, galusan epigallokatechiny, galusan epikatechiny, epikatechina, galokatechina, katechina oraz flawonoidy wśród których można wymienić: kwercetynę, kemferol, myrcetynę, kwasy fenolowe: kwas galusowy, p-kumarowy, kawowy oraz pochodne kwasu kawowego: kwas chlorogenowy oraz teogalina. W liściach są zawarte także: alkaloidy purynowe, w tym kofeina, teobromina, teofilina; aminokwasy; teanina; witaminy: C, E, B oraz niewielka ilość witaminy K oraz jony potasu, glinu oraz fluoru. Zawartość tych składników w herbacie zależy od wielu czynników m.in.: od gatunku, pory roku, wieku rośliny, warunków w których jest uprawiana, a w szczególności od procesu wytwarzania czyli stopnia fermentacji. Związki wchodzące w skład zielonej herbaty posiadają wiele prozdrowotnych właściwości takich jak: działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne, antynowotworowe, antibakteryjne oraz przeciwniażdżycowe (Kania i Baraniak 2011). Galusan epigallokatechiny oprócz potencjalnych właściwości przeciwnowotworowych, wykazuje także działanie: przeciwcukrzycowe, przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe, a także posiada zdolność regulowania masy tkanki tłuszczowej. Katechiny wchodzące w skład zielonej herbaty mają zasadniczy i wielokierunkowy wpływ na redukcję masy ciała. Związki te, jak i zawarty w nich galusan epigallokatechiny, korzystnie wpływają na obniżenie poziomu trigliceroli i cholesterolu oraz na zmniejszenie poziomu akumulacji tłuszczu przez wątrobę. Katechiny działają już na etapie wchłaniania składników pokarmowych. Blokują aktywność enzymów rozkładających wielocukry m.in. α -amylazy. Galusan epigallokatechiny utrudnia w jelitach wychwyt glukozy poprzez fosforylację substratu receptora insulinowego (IRS), co w konsekwencji skutkuje nasileniem lipolizy. Hamowanie jelitowego wchłaniania tłuszczów objawia się również w powstrzymaniu ich emulsyfikacji przez żółć, co prowadzi do zmniejszenia się rozpuszczalność cholesterolu, a co za tym idzie obniżenia poziomu triglicerydów i cholesterolu w surowicy krwi. Katechiny, a w szczególności galusan epigallokatechiny, znacząco redukują wewnątrzkomórkowy poziom wchłaniania lipidów na skutek obniżenia aktywności dehydrogenazy glicerolo-3-fosfatazy (Donejko i in. 2013). Zielona herbata może być stosowana jako środek wspomagający redukcję masy ciała ze względu na zwiększenie wydatku energetycznego na skutek podwyższenia termogenezy oraz obniżenia aktywności lipaz hamujących rozkład krótko- i długołańcuchowych triacylogliceroli. Lipaza trzustkowa zostaje wówczas zahamowana przez katechiny oraz saponiny wchodzące w skład ekstraktu zielonej herbaty. Sugeruje się także, że związki polifenolowe zawarte w tej herbacie powodują inhibicję amylaz, przez co obniżają aktywność amylazy ślinowej. Jednak, aby uzyskać

efekt redukcji masy ciała, zaleca się spożywać od 3 do 10 kubków herbaty dziennie. Należy pamiętać, iż zbyt duże pobranie kofeiny zawartej w herbacie może mieć negatywny efekt, np. powodować zaburzenia w rytmie pracy serca, bezsenność (Waszkiewicz – Robak i in. 2007).

2.4 Chitosan

Chitosan jest to polisacharyd pozyskiwany z chitynowych pancerzyków owadów i skorupiaków. Substancja ta nie jest trawiona w przewodzie pokarmowym człowieka i może spełniać funkcje podobne do błonnika. Chitosan ma zdolność wiązania kwasów żółciowych i cholesterolu, przez co obniża jego poziom we krwi. Związek ten wykorzystywany jest w środkach odchudzających z tego względu, że wiąże on tłuszcz pokarmowy oraz zapobiega jego wchłanianiu (Walsh i in. 2013). Wykazano, iż zawartość tłuszczu w stolcu osób przyjmujących chitosan wzrosła o 4,5%, natomiast zawartość tłuszczu w stolcu osób przyjmujących Orlistat (silny środek farmakologiczny, inhibitor lipazy trzustkowej i żołądkowej) - o 42% (Respondek i Jarosz 2004). Właściwości wiążące chitosanu mogą mieć także efekt negatywny, ponieważ może on wiązać w przewodzie pokarmowym także witaminy, mikroelementy oraz niektóre leki. Długotrwałe stosowanie tej substancji, może powodować obniżenie poziomu witaminy E oraz makro- i mikroelementów m.in.: wapnia, magnezu, czy żelaza. Należy pamiętać, aby zachować odpowiednio długi okres czasu pomiędzy przyjmowaniem chitosanu, a innymi suplementami oraz lekami (Gromadzka-Ostrowska i Dworznicki 2001).

2.5 L-karnityna

Karnityna posiada dwie formy izomeryczne: L i D. W organizmie człowieka produkowana jest prawie wyłącznie forma L. Związek ten jest syntetyzowany z aminokwasów: lizyny i metioniny, które należą do aminokwasów egzogennych. Produkty pochodzenia zwierzęcego są bardzo dobrym źródłem karnityny, natomiast produkty pochodzenia roślinnego zawierają jej niewiele. Największe jej ilości znajdują się w mięsie baranin, później w wołowinie, wieprzowinie oraz rybach. Najmniejsza ilość L-karnityny znajduje się w mięsie drobiowym (Jankowska i Łysiak–Szydłowska 2001; Pycia i in. 2019; Waszkiewicz-Robak i in. 2007). Karnityna jest bardzo często stosowanym środkiem m.in.: do suplementacji diet przeznaczonych dla sportowców i podnoszącym ich wytrzymałość na wysiłek fizyczny. Karnityna jest odkładana we wszystkich tkankach, a w największej ilości w narządach, które jej nie produkują (mięśnie szkieletowe, mięsień sercowy). Związek ten jest przenoszony przez krew i wychwytywany przez tkanki docelowe. Karnityna jest szczególnie ważna przy mitochondrialnym utlenieniu kwasów tłuszczowych w procesie β -oksydacji. Zadaniem karnityny jest transport długo- i krótkołańcuchowych aktywnych form kwasów tłuszczowych przez błony mitochondrialne oraz aktywizacja palmityloksydazy, głównego enzymu na szlaku utleniania kwasów tłuszczowych. Jest to niezbędny proces w przemianach kwasów tłuszczowych, aby mogły one ulec oksydacji i służyć jako źródło energii. Sposób działania L-karnityny polega na przyspieszeniu przemiany tłuszczu zapasowego w energię, dzięki czemu korzystnie wpływa na szybszą redukcję nadmiernej masy ciała i zapobieganie otyłości (Gromadzka-Ostrowska i Dworznicki 2001). Egzogenna karnityna zwiększa wytrzymałość organizmu na wysiłek fizyczny, a także obniża poziom mleczanów oraz powoduje wzrost termogenezy. W prowadzonych badaniach, dodatek karnityny do diety szczurów powodował obniżenie stężenia trójglicerydów i leptyny we krwi (Hongu i Sachan 2000). Włączenie karnityny do paszy zwierząt powodowało produkcję lepszej jakości mięsa, o mniejszej zawartości tłuszczu. Dodatek tego związku do pokarmów kastrovani zwierząt domowych, takich jak koty czy psy, przyczyniał się do utrzymania ich szczupłej sylwetki (Heo i in. 2000). Działania uboczne stosowania karnityny obserwuje się bardzo rzadko. Aktualnie uważa się, że jedynymi przeciwwskazaniami do stosowania karnityny jest czynna choroba wrzodowa żołądka lub dwunastnicy (Gromadzka-Ostrowska i Dworznicki 2001).

2.6 Sprężone dieny kwasu linolowego (CLA)

Sprężone dieny kwasu linolowego (CLA) produkowane są w przewodzie pokarmowym zwierząt roślinożernych. Wytwarzane są w obecności bakterii bytujących w przewodzie pokarmowym w tym *Butyrivibrio fibrisolvens*. CLA występuje w mleku oraz jego przetworach, w ilości od 2,5 do 8,92 mg CLA/g tłuszczu, z czego izomer cis-9, trans-11 stanowi 73-93%

całkowitego składu CLA. Największą ilość powyższego izomeru ma mleko owcze, natomiast mleko krowie ma go dwa razy mniej (Waszkiewicz-Robak i in. 2007; Janczy 2012). Spośród wszystkich izomerów kwasu linolowego, najwyższą aktywność biologiczną wykazują: izomery cis-9, trans-11 oraz trans-10 i cis-12. Do najważniejszych właściwości tych izomerów należą: działanie przeciwnowotworowe (cis-9, trans-11 CLA), zmniejszenie tkanki tłuszczowej (trans-10, cis-12 CLA), hamowanie rozwoju cukrzycy typu II, poprawa mineralizacji kości oraz działanie bakteriostatyczne i przeciwutleniające (Araszkiewicz i in. 2019). Mechanizm redukcji tkanki tłuszczowej przez CLA nie jest do końca poznany. Uważa się, że spadek tłuszczowej masy ciała może być wynikiem: wzrostu wydatku energetycznego, modyfikacji metabolizmu adipocytów, modyfikacji cytokin oraz wzrostu β -oksydacji kwasów tłuszczowych. CLA powodują zmniejszenie masy ciała przez dezaktywowanie enzymów odpowiedzialnych za odkładanie się tłuszczu oraz za metabolizm tkanki tłuszczowej w organizmie. Sprężone dieny kwasu linolowego obniżają aktywność lipazy lipoproteinowej, przez co obniżają wewnątrzkomórkową zawartość triacylogliceroli, jak również desaturazy stearoilo-CoA (SCD) - głównego enzymu biorącego udział w tworzeniu jednonienasyconych kwasów tłuszczowych. Uważa się, że substancja ta pobudza aktywność palmitylotransferazy, co rozpoczyna nasiloną β -oksydację kwasów tłuszczowych (Janczy 2012; Kowalska i Cichosz 2013). Sprężone dieny kwasu linolowego mają wiele prozdrowotnych właściwości, do których można zaliczyć m.in. immunostymulujące działanie, które polega na zwiększonej syntezie ciał odpornościowych, zwłaszcza limfocytów oraz zwiększonej zdolności fagocytarnej. Suplementacja mieszaniną dwóch izomerów CLA (cis-9, trans-11 i trans-10, cis-12) skutkuje spadkiem cytokin prozapalnych (Makala 2018).

2.7 Chrom

Suplementacja chromem może być korzystna w leczeniu cukrzycy, a także kontroli stężenia glukozy i insuliny u pacjentów z dużym ryzykiem cukrzycy typu II. Pierwiastek ten jest elementem czynnika tolerancji glukozy (GTF). GTF pobudza aktywność insuliny, przez łączenie się z jej receptorami, bądź bezpośrednio z nią. Skutkiem takiego działania jest poprawienie tolerancji glukozy. Chrom może być wykorzystywany we wspomaganie redukcji masy ciała, ponieważ zmniejsza on apetyt na słodycze (Drzeżdżon i in. 2019; Pachocka i Nowak 2006).

2.8 Probiotyki

Flora przewodu pokarmowego oddziałuje na stan metaboliczny organizmu. Bierze ona udział w pozyskiwaniu energii z diety, w procesach odkładania tłuszczu w tkance tłuszczowej oraz regulacji czynności hormonalnej przewodu pokarmowego (Majewska i in. 2017). Dieta bogata w tłuszcz obniża ilość bifidobakterii. Dodatek do powyższej diety prebiotyku (oligofruktozy) zwiększa liczbę bifidobakterii oraz korzystnie wpływa na tolerancję glukozy. Oligofruktoza natomiast wywiera korzystny efekt na gospodarkę węglowodanową. Sugeruje się, że mikroflora jelitowa oddziałuje na masę tkanki tłuszczowej. Bakterie z rodzaju *Lactobacillus* mają korzystny wpływ na redukcję tkanki tłuszczowej. Probiotyki mogą sprzyjać obniżeniu masy ciała, dzięki ich właściwościom, takim jak: korzystnym wpływie na integralność śluzówki przewodu pokarmowego, kształtowaniu wydzielania hormonów jelitowych, odgrywających rolę w regulacji ośrodka głodu i sytości, a także wyciszaniu stanu zapalnego. Zastosowanie probiotyków w leczeniu i zapobieganiu otyłości wymaga jednak dalszych badań (Grodowska i in. 2011).

3. Podsumowanie

Wartość światowego rynku (w tym europejskiego) suplementów diety od 10 lat dynamicznie rośnie w 2018 r. przekroczyła 100 mld USD. W pracy przedstawiono główne źródła substancji aktywnych w dostępnych preparatach. Inną, wymagającą dalszych badań bardzo ważną kwestią jest nie tylko ich skuteczność, ale przede wszystkim bezpieczeństwo.

4. Literatura

Araszkiewicz A, Bandurska-Stankiewicz E, Budzyński A, i in. (2019) Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2019. Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. *Diabetologia Praktyczna* 5(1): 1-100.

- Donejko M, Nieczyporuk M, Galicka E, (2013) Właściwości antynowotworowe galusanu epigallokatechiny zawartego w zielonej herbacie. *Advances in Hygiene & Experimental Medicine* 67: 26-34.
- Drzeżdżon J, Malinowski J, Zych D, i in. (2019) Związki wanadu i chromu jako potencjalne insulino-mime tyki wykorzystywane w leczeniu cukrzycy. *Wiadomości Chemiczne* 73(11-12): 753-775.
- Grodowska A, Respondek W, Mękus M (2011) Czy stosowanie probiotyków może ułatwić redukcję masy ciała? *Żywnienie Człowieka i Metabolizm* 38(2): 111-117.
- Gromadzka-Ostrowska J, Dworzynski J, (2001) Wpływ ogólnodostępnych preparatów wspomagających odchudzania – karnityny, chitosanu i guarany – na organizm człowieka. *Żywnienie Człowieka i metabolizm* 28(4), 351-359.
- Heo K, Odle J, Han IK (2000) Dietary L-carnitine improves nitrogen utilization in growing pigs fed low energy, fat-containing diets. *Journal of Nutrition* 130: 1809-1811.
- Hongu N, Sachan DS (2000) Caffeine, carnitine and choline supplementation of rats decreased body fat and serum leptin concentration as does exercise. *Journal of Nutrition* 130: 152-155.
- Janczy A (2012) Sprzężony kwas linolowy cis-9, trans-11 CLA a zmiany miażdżycowe. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni* 73: 5-14.
- Jankowska M, Łysiak-Szydłowska W (2001). Karnityna a wysiłek fizyczny. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*, 28(2): 161-167.
- Kania M, Baraniak J (2011). Wybrane właściwości biologiczne i farmakologiczne zielonej herbaty (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *Postępy Fitoterapii* 1: 34-40.
- Kania M, Derebecka N, Mikołajczak PŁ i in. (2013). Glukomannan i inne substancje pochodzenia roślinnego stosowane w leczeniu otyłości oraz chorób towarzyszących. *Postępy Fitoterapii* 2: 132-139.
- Karwowska Z, Majchrzak K (2015) wpływ błonnika na zróżnicowanie mikroflory jelitowej (mikrobiota jelit). *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 48(4): 701-709.
- Kowalska M, Cichosz G (2013) Produkty mleczarskie – najlepsze źródło CLA. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 46(1): 1-12.
- Krotkiewski M (2002) Otyłość – środki wspomagające w dietetycznej i farmakologicznej terapii. *Przewodnik Lekarza* 5: 78-88.
- Majewska K, Szulińska M, Michałowska J, i in. (2017) Flora bakteryjna przewodu pokarmowego a choroby układu sercowo-naczyniowego. *Forum Zaburzeń Metabolicznych* 8(1): 1-6.
- Makala H (2018). Modyfikacja wartości żywieniowej mięsa i przetworów mięsnych poprzez zmiany ilości i składu tłuszczów oraz ograniczenie zawartości soli. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 25(2): 9 – 23.
- Mitra M, Gantait S, Mandal N. (2020) *Coleus forskohlii*: advancements and prospects of in vitro biotechnology. *Applied Microbiology and Biotechnology* 104(6): 2359-2371.
- Pachocka L, Nowak A (2006) Rola i znaczenie chromu w żywieniu człowieka. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm* 33(3): 243-247.
- Pycia K, Kaszuba J, Jaworska-Tomczyk K. (2019) Substancje biologicznie aktywne pomocne w redukcji masy ciała. *Laboratorium-Przegląd Ogólnopolski* 1: 68-74.
- Respondek W, Jarosz M (2004) Suplementy diety w otyłości. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*, 31(4): 353-361.
- Walsh AM, Sweeney T, Bahar B, et al. (2013) Multi-functional roles of chitosan as a potential protective agent against obesity. *PLOS one*, 8(1), e53828.
- Waszkiewicz-Robak B, Świdorski F, Serafin P (2007) Biologicznie aktywne składniki żywności wspomagające redukcję masy ciała. *Przemysł Spożywczy* 7: 29-31.
- Wirkijowska A, Rzedzicki Z, Sobota A, i in. (2016) Jęczmień w żywieniu człowieka. *Polish Journal of Agronomy* 25: 41-50.

11. Właściwości przeciwutleniające wybranych składników występujących w żywności

Antioxidant properties of selected ingredients present in food

Kapusta-Duch Joanna

Katedra Żywienia Człowieka i Dietetyki, Wydział Technologii Żywności, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Kapusta-Duch Joanna: joanna.kapusta-duch@urk.edu.pl

Słowa kluczowe: reaktywne formy tlenu (RFT), kwas askorbinowy, polifenole

Streszczenie

W organizmie człowieka nieustannie zachodzą procesy metaboliczne, podczas których powstają różne produkty uboczne, w tym zaliczane do reaktywnych form tlenu (RFT) rodniki - cząsteczki zawierające minimum jeden niesparowany elektron, a co za tym idzie – wykazujące większą reaktywność. Organizm ludzki w pewnym stopniu przystosowany jest do ochrony przeciwrodnikowej i utrzymania równowagi tlenowej komórek, poprzez różnego rodzaju mechanizmy enzymatyczne i nieenzymatyczne. Jednak, gdy te mechanizmy z różnych względów zawodzą, kolejną linią obrony przed destrukcyjnym działaniem nadmiaru rodników są przeciwutleniacze, będące cząsteczkami o zdolnościach hamujących utlenianie, jednocześnie chroniącymi organizm przed stresem oksydacyjnym

1. Wstęp

Żywność pochodzenia roślinnego jest bogatym źródłem substancji o wysokiej aktywności biologicznej, a szczególnie związków nazywanych przeciwutleniaczami, które mają za zadanie hamować reakcje z reaktywnym tlenem lub ozonem oraz działających pośrednio, poprzez wiązanie prooksydantów. Do grupy antyoksydantów należy także zaliczyć substancje indukujące enzymy o charakterze antyutleniającym lub hamujące enzymy wspomagające procesy oksydacji (Franzen i in., 2018). Związki przeciwutleniające można podzielić na dwie grupy, ze względu na charakter działania. Pierwsza z nich to związki przerywające reakcje rodnikowe, stanowiąc donor wodoru lub elektronów, co sprzyja przejściu rodnika w związek o wyższej stabilności. Przykładem mogą być galusany, hydrochinony, tokoferole. Druga grupa antyutleniaczy działa w synergistyczny sposób, wychwytyjąc tlen lub chelatując jony, które biorą udział w powstawaniu rodników (kwas askorbinowy, kwas cytrynowy, flawonoidy, β -karoten, witamina A, selen). Badania dowodzą, że obecność przeciwutleniaczy w diecie znacznie zmniejsza ryzyko zachorowań na schorzenia, w których patogenezie ważną rolę odgrywają wolne rodniki. Można do nich zaliczyć przewlekłe choroby niezakaźne, takie jak: otyłość, cukrzyca, miażdżyca, nadciśnienie tętnicze, choroba Parkinsona, choroba Alzheimera oraz nowotwory (Pisulewski i Pysz (red.) 2008; Santos-Sánchez i in. 2019).

2. Opis zagadnienia

2.1 Wolne rodniki oraz mechanizmy działania związków antyutleniających

Wolne rodniki to reaktywne cząstki, posiadające na ostatnim orbitalu pojedynczy, niesparowany elektron, co wpływa na ich niestabilność. Do najczęściej występujących rodników można zaliczyć:

- anionorodnik ponadtlenkowy (O^{2-}),
- rodnik wodoronadtlenkowy (HO_2^{\cdot}),
- rodnik hydroksylowy (OH^{\cdot}),
- tlen singletowy,
- ozon (O_3),
- rodnik hydroksylonadtlenkowy (HOO^{\cdot}),

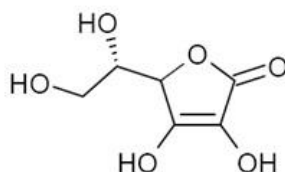
- nadtlenek wodoru (pomimo faktu, że z chemicznego punktu widzenia nie ma budowy wolnorodnikowej) (Grajek (red.) 2007; Santos-Sánchez i in. 2019).

Wolne rodniki powstają w żywności w wyniku procesów obróbki technologicznej (np. wędzenie, smażenie) oraz w czasie przechowywania. Inne czynniki wpływające na tworzenie się form wolnorodnikowych, to obecność promieniowania ultrafioletowego, jonizującego, czy ultradźwięków. W organizmie człowieka powstają w wyniku reakcji oddychania tkankowego. Te reaktywne związki mogą być dostarczane z lekami, powietrzem oraz dymem papierosowym. Oddziaływanie wolnych rodników z białkami, lipidami, węglowodanami i kwasami nukleinowymi prowadzi do utlenienia tych związków oraz rozpoczyna reakcje łańcuchowe. Mogą one powodować uszkodzenia błon komórkowych, rozerwanie nici DNA, mutacje punktowe, aberracje chromosomalne, a nawet śmierć komórek. Zmiany w DNA sygnalizują zapoczątkowanie procesu patologicznej proliferacji komórek oraz indukują procesy kancerogenezy (Losada-Barreiro i in. 2017; Szajdek i Borowska 2004).

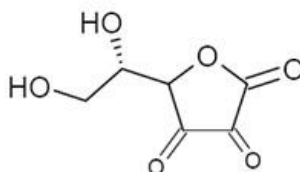
3. Przegląd literatury

3.1 Witamina C

Witaminą C można nazwać zarówno kwas L-askorbinowy, jak i L-dehydroaskorbinowy (wzory strukturalne na Rys. 1. i 2.). Z chemicznego punktu widzenia kwas askorbinowy jest to γ -lakton endiolu kwasu 2-okso-L-gulonowego. W swojej cząsteczce zawiera 2 węgle asymetryczne (C₄ oraz C₅), co umożliwia temu związkowi występowanie w postaci 4 stereoizomerów (kwas L-askorbinowy, D-askorbinowy, L-izoaskorbinowy oraz D-izoaskorbinowy). Kwas L-askorbinowy ma charakter kwasowy oraz posiada silne właściwości redukcyjne. W przypadku słabego utlenienia w organizmie przechodzi w związek pośredni: kwas L-monodehydroaskorbinowy, a następnie w kwas L-dehydroaskorbinowy. Powyższe związki tworzą układ oksydo-redukcyjny o odwracalnym charakterze (Wartanowicz i Ziemiański 1992; Grajek (red.) 2007).



Rys. 1. Wzór strukturalny kwasu askorbinowego (ChemSketch).



Rys. 2. Wzór strukturalny kwasu dehydroaskorbinowego (ChemSketch).

Związek ten jest dla człowieka egzogeny (nie jest syntetyzowany w organizmie), przez co powinien być niezbędnie dostarczany wraz z pożywieniem. Jego dobowe zapotrzebowanie jest najwyższe ze wszystkich witamin i różni się, w zależności od takich czynników, jak m.in.: wiek, płeć, stan fizjologiczny. Wzrasta przy długim i ciężkim wysiłku fizycznym, u osób starszych, z cukrzycą, palących papierosy, z nadciśnieniem tętniczym, w przypadku silnego stresu, u kobiet w ciąży i karmiących piersią. Instytut Żywności i Żywienia określa zalecane zapotrzebowanie na witaminę C u zdrowych mężczyzn (≥ 19) jako 90 mg/dobę oraz u kobiet (≥ 19): 75 mg/dobę (Jarosz (red.) 2012).

Witamina C spełnia ważne funkcje w organizmie człowieka. Jest m.in. istotnym czynnikiem przemian oksydoredukcyjnych, a jako przenośnik czynnego wodoru bierze udział w reakcjach aminokwasów. Może być zaliczana do naturalnych antyoksydantów, gdyż chroni witaminę K oraz retinol przed procesami utleniania. Przeciwdziała procesom peroksydacji lipidów oraz zapobiega powstawaniu rakotwórczych nitrozoamin z azotanów. Dodatkowo regeneruje tokoferol z jego wolnorodnikowej postaci i utrzymuje jony niektórych metali na niskim poziomie utlenienia. Witamina C jest efektywnym zmiataczem reaktywnych form tlenu i przez to uważana jest za jeden z najistotniejszych przeciwutleniaczy wewnątrz komórek oraz w płynach pozakomórkowych. Kwas askorbinowy hamuje peroksydację hemoglobiny, a także zapobiega peroksydacji zainicjowanej przez wzbudzone leukocyty obojętnochnonne. Łącznie z glutationem i koenzymem Q chroni przed uszkodzeniami oksydacyjnymi mitochondria. Pokrycie zapotrzebowania na kwas askorbinowy chroni przed szkorbutem, pomaga w utrzymaniu prawidłowego stanu skóry oraz naczyń krwionośnych (bierze udział w biosyntezie kolagenu), stymuluje odporność immunologiczną, wykazuje właściwości detoksykacyjne, wspomaga wchłanianie żelaza niehemowego oraz wapnia. Witamina C obniża ryzyko występowania miażdżycy i chorób układu krążenia, a także zapobiega rozwojowi nowotworów, głównie żołądka, jelita grubego i przełyku (Fenech i in. 2019; Grajek (red.) 2007).

Witamina C jest substancją o bardzo dużej wrażliwości na takie czynniki środowiskowe, jak: światło, tlen, pH. Straty zawartości kwasu askorbinowego, w wyniku przechodzenia do wody, są najwyższe w produktach gotowanych tradycyjnie i mogą sięgać nawet 70%. Rozpad tej witaminy wzmagają środowisko obojętne lub alkaliczne, promieniowanie ultrafioletowe, obecność metali ciężkich. Natomiast niskie temperatury oraz pH poniżej 5 zatrzymują utlenianie kwasu askorbinowego. Straty spowodowane przechowywaniem, obróbką technologiczną i przetwarzaniem są wysokie, stąd zaleca się spożywanie owoców i warzyw na surowo (Grajek (red.) 2007).

Głównymi źródłami witaminy C w żywności są świeże owoce i warzywa. Szczególnie dużą zawartością tego związku charakteryzują się owoce dzikiej róży, czarnej porzeczki, cytrusowe, kiwi oraz papryka i natka zielonej pietruszki. Wszystkie odmiany kapusty charakteryzują się wysoką zawartością witaminy C. Głównie w okresie zimowym, gdy na rynku jest mały wybór świeżych warzyw i owoców, zapotrzebowanie na kwas askorbinowy może pokrywać także kapusta kiszona. W Polsce podstawowymi źródłami tej witaminy są ziemniaki. Co prawda, nie charakteryzują się one wysoką zawartością tego związku, lecz stanowią ponad 57% wszystkich spożywanych warzyw (Fenech i in. 2019; Grajek (red.) 2007). Zawartości witaminy C w wybranych produktach spożywczych są zamieszczone w Tab. 1.

Tab. 1. Zawartości witaminy C w wybranych produktach spożywczych (Kunachowicz i in. 2018).

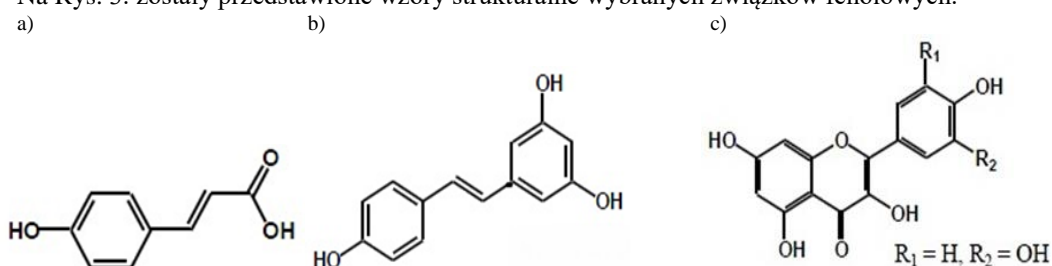
Źródło	Zawartość witaminy C (mg/100 g świeżej masy)
mleko, jogurty	1,0–2,8
ryby świeże	0,0–2,0
boćwina	34,0
brokuły	83,0
brukselka	94,0
papryka czerwona	144
ziemniaki	14
grejpfrut	40
jabłko	9,2
kiwi	59,0
porzeczki czarne	182,6
truskawki	66,0
śliwki	5,2

związki fenolowe (polifenole)

Związki fenolowe można zaliczyć do licznej pod względem struktury, masy cząsteczkowej oraz właściwości fizykochemicznych i biologicznych grupy związków, posiadających właściwości przeciwutleniające. Są drugorzędowymi metabolitami, rozpowszechnionymi w świecie roślin (głównie w formie glikozydów lub estrów), natomiast nie są syntetyzowane u zwierząt. Ich pierwotnymi metabolitami są węglowodany, a powstają według dwóch poznanych mechanizmów: przy pomocy kwasów szikimowego i octanowo-malanowego (Grajek (red.) 2007; Rosicka-Kaczmarek 2004). Polifenole są klasyfikowane według źródła pochodzenia, funkcji biologicznej oraz struktury chemicznej. Ostatni z wymienionych podziałów wyróżnia:

- kwasy fenolowe (pochodne kwasów benzoesowego, np. kwas salicylowy, oraz cynamonowego, np. kwas *p*-kumarowy),
- flawonoidy (flawony, flawonole, flawanony, flawany, izoflawony, antocyjany i chalkony),
- stilbeny, np. resweratrol,
- lignany, np. sezamina, sazamolina (Grajek (red.) 2007; Tsao 2010).

Na Rys. 3. zostały przedstawione wzory strukturalne wybranych związków fenolowych.



Rys. 3. Wzory strukturalne wybranych związków fenolowych: a) kwas *p*-kumarynowy (z grupy kwasów cynamonowych), b) resweratrol (z grupy stilbenów), c) kwercetyna (z grupy flawonoli) (Tsao 2010).

Polifenole roślinne wykazują właściwości antyoksydacyjne na kilka następujących sposobów:

- jako związki redukujące,
- jako substancje, które blokują wolne rodniki, przez co zostaje zainicjowany proces utleniania,
- chelatują jony metali, które są katalizatorami reakcji oksydacyjnych,
- zapobiegają reakcjom, zainicjowanym przez pojedynczy reaktywny atom tlenu,

hamują aktywność enzymatyczną niektórych enzymów utleniających, np. lipooksygenaz. Polifenole są donorami wodoru z grupy hydroksylowej, z łatwością są utleniane. Mają właściwości redukujące w stosunku do nadtlenków i wodorotlenków, a także unieczynniają wolne rodniki. Związki fenolowe reagują z nimi oraz przerywają reakcję łańcuchową. Flawonoidy poprzez grupy funkcyjne mogą tworzyć kompleksy z metalami, przez co hamują ich zdolność do katalizowania reakcji oksydacji i powstawania wolnych rodników. Reagując zaś z reaktywną formą tlenu unieczynniają go i blokują wolnorodnikową reakcję łańcuchową (Grajek (red.) 2007; Rosicka-Kaczmarek 2004).

Najaktywniejszą grupą polifenoli o charakterze prozdrowotnym są flawonoidy. Hamują one utlenianie cholesterolu LDL, zwiększają stężenie HDL oraz całkowite stężenie cholesterolu w surowicy. Ponadto wpływają na utrudnianie tworzenia się blaszek miażdżycowych. Flawonole zmniejszają ryzyko powstawania oraz rozwoju guzów nowotworowych, działają antymutagennie oraz wykazują działanie detoksykacyjne w stosunku do kancerogenów. Polifenole chronią przed chorobami układu krążenia oraz działają przeciwzapalnie i antywirusowo. W hamowaniu promocji progresji nowotworów szczególną rolę spełniają: gingerol (występujący w imbirze), galusan epigallokatechiny (charakterystyczny dla zielonej herbaty) oraz resweratrol (zawarty w czerwonym winie). Badania wykazują, że flawonoidy, należące do związków fenolowych zmniejszają agregację

plytek krwi, co sprzyja zmniejszaniu ryzyka zachorowań na miażdżycę. Ponadto przeciwdziałają powstawaniu wrzodów żołądka i dwunastnicy, wywołanymi przez leki, alkohol oraz stres (Sadowska i in. 2011; Zalega i Szostak-Węgierek 2013).

Poza właściwościami zdrowotnymi, polifenole są odpowiedzialne za cechy sensoryczne żywności. Obecność związków polifenolowych w świeżych owocach i warzywach znacznie wpływa na ich walory smakowe, zapachowe, barwę, konsystencję. Za cierpki smak jabłek oraz herbaty odpowiedzialne są katechiny i procyanidyny, zaś za gorzki smak grejpfrutów odpowiada florydzyina. Flawonoidy w roślinach zaś chronią je przed atakiem pasożytów, grzybów oraz niepożądanym działaniem promieni słonecznych (Grajek (red.) 2007; Sadowska i in. 2011; Sikorska-Zimny 2010).

Najbogatszym źródłem polifenoli w diecie są świeże owoce i warzywa, zielona herbata, kakao oraz czerwone wino. Najlepszym przykładem warzyw zasobnych w związki fenolowe są te, o barwach: zielonych, żółtych oraz czerwonych: sałata, cebula, kabaczek, brokuł, papryka, pomidory, nasiona roślin strączkowych. Szczególnie dużo tych związków jest umiejscowionych pod skórka owoców, takich jak: winogrona, jabłka, owoce jagodowe, aronia, grejpfrut, pomarańcza (Sikora i in. 2008, Sadowska i in. 2011). Zawartość poszczególnych polifenoli w wybranych owocach i warzywach została przedstawiona w Tab. 2.

Tab. 2. Źródła wybranych związków polifenolowych (Zalega i Szostak-Węgierek 2013).

Związki polifenolowe		Występowanie	
Kwasy fenolowe	Kwas kawowy	kawa, białe winogrona, oliwki, kapusta	
	Kwas chlorogenowy	jabłka, wiśnie, brzoskwinie, gruszki, pomidory	
Flawonoidy	Flawonole	Kwercetyna	cebula, brokuły, sałata, jabłka, ciemne winogrona, herbata
		Kempferol	grejpfrut, brokuły, czarna herbata
	Flawanole	Katechina	herbata, jabłka, jeżyny, winogrona, czerwone wino, gorzka czekolada
	Izoflawony	Genisteina	soja, groch, fasola, soczewica
Terpenoidy	Terpeny	koper włoski, szalwia, melisa, kolendra	
	Saponiny	soja, warzywa strączkowe, szpinak, marchew, buraki	

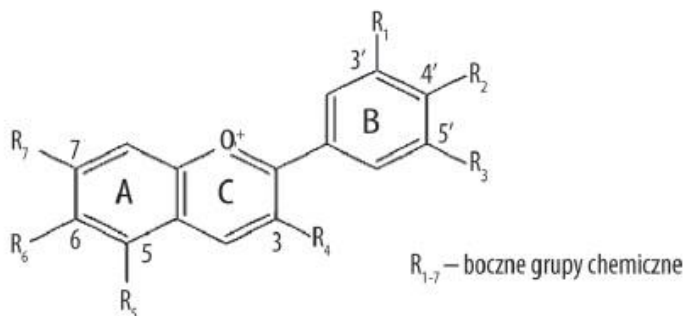
Do flawonoidów zaliczamy antocyjany, czyli szeroko rozpowszechnioną grupę naturalnych barwników roślinnych o prozdrowotnym charakterze. Mogą występować w owocach, warzywach, ziarnach zbóż oraz kwiatach, nadając im barwę od pomarańczowej i różowej, poprzez czerwoną i purpurową do niebieskiej i granatowoczarnej (Konczak i Zhang 2004, Mitek i Gasik 2009). Są one rozpuszczone w soku wakuoli komórek, wchodzących w skład skórki wyżej wymienionych produktów. Mięsz oraz ściany komórkowe przeważnie nie zawierają antocyjanów. Zawartość tych barwników zwiększa się wraz ze wzrostem rośliny (Grajek (red.) 2007, Piątkowska i in. 2011). Znajdują się one między innymi w: czerwonych i czarnych borówkach, malinach, porzeczkach, czereśniach, czerwonych pomarańczach, winogronach, owocach czarnego bzu oraz aronii. W przypadku warzyw istotną zawartością barwników antocyjanowych charakteryzują się: czerwona cebula, kapusta, sałata, kalafior fioletowy, rzodkiewka, bakłażan oraz bataty (Horbowicz i in. 2008). Zawartość antocyjanów w przykładowych produktach znajduje się w Tab. 3.

Struktura chemiczna antocyjanów wyróżnia się szkieletem węglowym C₆ - C₃ - C₆. Te naturalne barwniki są pochodnymi kationu flawyliowego – 2-fenylobenzopiryliowego (ryc. 4.),

występującego najczęściej w formie oksoniowej, lub rzadziej karboniowej. Antocyjany są różnorodną grupą. Poszczególne barwniki różnią się pomiędzy sobą rodzajem podstawników oraz miejscem ich występowania. Podczas hydrolizy kwasowej następuje rozpad antocyjanów na cukry oraz antocyjanidyny (aglikony). W naturalnych produktach barwniki te występują w formie glikozydów, czyli połączeń z cukrami prostymi. Najczęściej są to: glukoza, galaktoza, ksyloza, arabinoza. Reszty cukrowe mogą być przyłączane w postaci mono-, di- lub triglikozydów, a także acylowane kwasami fenolowymi: cynamonowym, kawowym, ferulowym, jabłkowym, octowym i innymi (Horbowicz i in. 2008, Piątkowska i in. 2011).

Tab. 3. Zawartość antocyjanów w wybranych produktach (Saluk-Juszczak 2010).

Produkt	Zawartość antocyjanów [mg/100g produktu]
Aronia	200-1000
Czerwone winogrona	30-750
Czerwona porzeczka	80-420
Wiśnia	350-400
Czarna porzeczka	130-400
Jeżyna	83-326
Pomarańcza	200
Żurawina	60-200
Rabarbar	Do 200
Rzodkiewka	11-60
Malina	10-60
Pomidor	15-45
Czerwone wino	24-35
Truskawka	15-35
Czerwona kapusta	25
Czerwona cebula	7-21



Rys. 4. Jon flawyliowy, podstawowa struktura antocyjanów (Saluk-Juszczak 2010).

Znanych jest kilkadziesiąt antocyjanidyn. W jadalnych owocach i warzywach występuje sześć: pelargonidyna, cyjanidyna, delfinidyna, peonidyna, malwidyna oraz petunidyna. W Tab. 4. została przedstawiona charakterystyka wybranych antocyjanidynów owoców i warzyw. Barwy tych związków są zależne od ilości oraz umiejscowienia grup hydroksylowych i metoksyłowych. Intensywna barwa czerwona jest wywołana większą liczbą grup hydroksylowych w pierścieniu B, zaś pojawienie się odcienia niebieskiego jest skutkiem obecności grup metoksyłowych. Ponadto na odcień antocyjanów ma wpływ pH. W środowisku kwaśnym ($pH < 3$) charakteryzują się one

czerwonym zabarwieniem, zaś w zasadowym (pH>11) - niebieskim. W przypadku obojętnego odczynu otoczenia uzyskują fioletowy odcień (Mitek i Gasik 2009; Sikorski 1996).

Tab. 4. Budowa chemiczna oraz barwa wybranych antocyjanidynów (Mitek i Gasik 2009).

Aglikony	Symbol	Podstawnik R ₁	Podstawnik R ₂	Barwa
Pelargonidyna	Pg	H	H	pomarańczowa
Cyjanidyna	Cy	OH	H	pomarańczowoczerwona
Peonidyna	Pn	OCH ₃	H	pomarańczowoczerwona
Delfinidyna	Dp	OH	OH	różowoczerwona
Petunidyna	Pt	OCH ₃	OH	purpurowa
Malwidyna	Mv	OCH ₃	OCH ₃	fioletowa

Jako przedstawiciele polifenoli, antocyjany charakteryzują się silnymi właściwościami antyoksydacyjnymi. Stwierdzono, że wykazują nawet silniejszą aktywność antyutleniającą od α -tokoferolu, β -karotenu oraz kwasu askorbinowego. Dzięki obecności grup hydroksylowych chelatują jony metali, takich, jak żelazo, czy miedź oraz inaktywują działanie wolnych rodników, przerywając łańcuch reakcji rodnikowych. Ponadto mają zdolności inhibujące oksydację lipoprotein LDL. Właściwości antyoksydacyjne potęguje acylowanie reszt glikozydowych kwasami fenolowymi. Barwniki antocyjanowe są także określane mianem „witaminy P”, ze względu na regulację przepuszczalności naczyń włosowatych. Charakter ten może być wykorzystywany w hamowaniu efektów procesu zapalnego. Antocyjany wpływają na poprawę ostrości wzroku, szczególnie po zmierzchu, a także pomagają w adaptacji soczewki oka w ciemności, co ma związek ze wzrostem stopnia regeneracji rodopsyny. Barwniki antocyjanowe wykazują kompleksyjne działanie kardioprotekcyjne, czego dowodem jest zjawisko nazywane „paradoksem francuskim”. Przyjmuje się, że spożycie produktów bogatych w polifenole, w tym antocyjany (np. winogrona, czerwone wino) powoduje zmniejszoną zapadalność Francuzów na miażdżycę, w porównaniu z mieszkańcami reszty krajów Europy zachodniej. Badania wykazały, że antocyjanidyny mają pozytywny wpływ na funkcję śródbłonna, rozszerzają naczynia krwionośne, ograniczają agregację płytek krwi oraz zmniejszają przechodzenie lipoprotein do ścian naczyń z osocza (Ghosh i Konishi 2007; Grajek (red.) 2007; Kowalczyk i in. 2004; Piątkowska i in. 2011).

Stabilność antocyjanów znacznie maleje podczas procesów obróbki technologicznej, enzymatycznej oraz w przypadku rozdrabniania mechanicznego. Takie czynniki, jak: wysoka temperatura, obecność tlenu, światła metali ciężkich, kwasu askorbinowego, sacharydów i produktów ich degradacji powodują niekorzystne zmiany barw produktów roślinnych zawierających ten związek (Mitek i Gasik 2009).

4. Podsumowanie

Nadmiar wolnych rodników może być przyczyną zmian chorobowych, jak m.in. mutacji genowych, miażdżycy, cukrzycy, chorób układu nerwowego, pokarmowego i krążenia, zwyrodnienia plamki żółtej, a także chorób autoimmunologicznych i nowotworowych. Kluczowym elementem strategii eliminacji negatywnego wpływu stresu oksydacyjnego na organizm człowieka jest dążenie do równowagi pomiędzy działaniem wolnych rodników a biologiczną zdolnością detoksykacji ich nadmiaru. Wszegobecność czynników powodujących stres oksydacyjny sprawia, że wiele osób narażonych jest na działanie wolnych rodników. Odpowiednia dieta, bogata w antyoksydanty, może okazać się kluczowym czynnikiem warunkującym zachowanie zdrowia.

5. Literatura

Fenech M, Amaya I, Valpuesta V, et al. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science* 9: 2006.

- Franzen FL, Lidório HF, Oliveira MS (2018) Edible flowers considerations as ingredients in food, medicine and cosmetics. *Journal of Analytical and Pharmaceutical Research* 7(3): 271-273.
- Ghosh D, Konishi T (2007) Anthocyanins and anthocyanin-rich extracts: role in diabetes and eye function. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 16(2): 200-208.
- Grajek W (red.) (2007). *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Horbowicz M, Kosson R, Grzesiuk A, i in. (2008). Anthocyanins of fruits and vegetables – their occurrence analysis and role in human nutrition. *Vegetable Crops Research Bulletin* 68(4): 5-22.
- Jarosz M (red.) (2012) *Normy żywienia dla populacji polskiej – nowelizacja*. Instytut Żywności i Żywienia, Warszawa.
- Konczak I, Zhang W (2004). Anthocyanins – More Than Nature’s Colours. *Journal of Biomedicine and Biotechnology* 5: 239-240.
- Kowalczyk E, Krzesiński P, Kura M, i in. (2004) Antocyjany – barwni sprzymierzeńcy lekarza. *Wiadomości Lekarskie* 57(11-12): 679-681.
- Kunachowicz H., Nadolna I., Iwanow K., Przygoda B., 2018. *Wartość odżywcza wybranych produktów spożywczych i typowych potraw*. PZWL, Warszawa.
- Losada-Barreiro, S., & Bravo-Diaz, C. (2017). Free radicals and polyphenols: The redox chemistry of neurodegenerative diseases. *European Journal of Medicinal Chemistry* 133: 379-402.
- Mitek M, Gasik A (2009) Polifenole w żywności. Wpływ na cechy organoleptyczne żywności. *Przemysł Spożywczy* 63(5): 34-38.
- Piątkowska E, Kopeć A, Leszczyńska T (2011) Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 77(4): 24-35.
- Pisulewski P, Pysz M (red.) (2008) *Żywność Człowieka*. Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Kraków.
- Rosicka-Kaczmarek J (2004) Polifenole jako naturalne antyoksydanty w żywności. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy* 51(6): 12-16.
- Sadowska A, Świdzki F, Kromołowska R (2011). Polifenole: źródło naturalnych przeciwutleniaczy. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 20(1): 108-111.
- Saluk-Juszczak J (2010) Antocyjany jako składniki żywności funkcjonalnej stosowanej w profilaktyce chorób układu krążenia. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej* 64(11): 451-458.
- Santos-Sánchez NF, Salas-Coronado R, Villanueva-Cañongo C et al. (2019) Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism. In *Antioxidants*. IntechOpen.
- Sikorska-Zimny K (2010) Składniki prozdrowotne w warzywach kapustowatych. *Nowości Warzywnicze*, 51: 51-63.
- Sikorski Z. (red.) (2002) *Chemia żywności. Składniki żywności*. WNT, Warszawa.
- Szajdek A, Borowska J (2004) Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 41(4): 5-28.
- Tsao R (2010) Chemistry and Biochemistry of Dietary Polyphenols. *Nutrients* 2(12): 1231-1246.
- Wartanowicz M, Ziemiański S (1992) Rola witaminy C (kwasu askorbinowego) w fizjologicznych i patologicznych procesach ustroju człowieka. *Żywność Człowieka i Metabolizm* 19(3): 193-205.
- Zalega J, Szostak-Węgierek D (2013) Żywność w profilaktyce nowotworów. Część I. Polifenole roślinne, karotenoidy, błonnik pokarmowy. *Problemy Higieny i Epidemiologii* 94(1): 41-49.

12. Wpływ askorbinianu sodu na właściwości mechaniczne i optyczne filmów żelatynowych

The effect of sodium ascorbate on the mechanical and optical properties of gelatin films

Katarzyna Łupina, Dariusz Kowalczyk

Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Słowa kluczowe: folie jadalne, żelatyna, kwas askorbinowy

Streszczenie

Światowy proekologiczny trend skupiający się na ograniczeniu zużycia syntetycznych tworzyw sprawia, że wykorzystanie naturalnych polimerów do produkcji opakowań staje się coraz bardziej popularne. Spośród wielu biopolimerów, obiecujący surowiec foliotwórczy stanowi żelatyna, która pozwala uzyskać materiały charakteryzujące się dużą wytrzymałością mechaniczną i przejrzystością. Właściwości folii biopolimerowych mogą być ulepszone poprzez dodatek substancji czynnych o ukierunkowanym działaniu. Askorbinian sodu (SA) to popularny dodatek do żywności (E301), pełniący funkcję przeciwutleniacza i regulatora kwasowości. Dlatego celem badań było określenie wpływu stężenia SA (0.5, 1, 2%) na wybrane właściwości fizykochemiczne (pH, zawartość wody), mechaniczne (wytrzymałość na zerwanie, wydłużenie względne, moduł elastyczności) oraz optyczne (barwa, nieprzezroczystość, przepuszczalność światła) filmów otrzymanych na bazie żelatyny (GEL).

Wykazano, że dodatek SA na poziomie 1-2 % spowodował istotny wzrost pH roztworów filmotwórczych (z 5.66 do 5.91 i 6.06). Filmy inkorporowane SA charakteryzowały się mniejszą zawartością wody w porównaniu do filmów kontrolnych (bez dodatku SA). Dodatek SA w większej ilości spowodował zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej i rozciągliwości filmów. Filmy zawierające SA charakteryzowały się większym nasyceniem barwy czerwonej i żółtej w porównaniu do próby kontrolnej. Obecność SA w strukturze filmów przyczyniła się do poprawy właściwości barierowych w stosunku do promieniowania UV.

1. Wstęp

Filmy (folie) to niezależne struktury otrzymane poza produktem, z kolei powłoki formowane są bezpośrednio na powierzchni produktu. Do ich produkcji wykorzystuje się polimery spożywcze dzięki czemu stanowią one unikalną kategorię jadalnych materiałów opakowaniowych. Dużą zaletą filmów i powłok jadalnych jest możliwość wzbogacania ich dodatkami do żywności (konserwantami, przeciwutleniaczami itp.), dzięki czemu zalicza się je do grupy opakowań aktywnych. Tego typu innowacyjne opakowania mają na celu zapobiegać niekorzystnym zmianom jakości żywności lub nawet wpływać na poprawę jakości i przedłużanie czasu bezpiecznego przechowywania produktu poprzez aktywne oddziaływanie z produktem lub atmosferą wewnątrz produktu. Efektywność działania aktywnych filmów i powłok jadalnych w dużej mierze zależy od cech materiałowych takich jak właściwości reologiczne, mechaniczne, optyczne, barierowe; jak również od uzyskanych cech funkcjonalnych, np. aktywności przeciwutleniającej czy przeciwmikrobiologicznej.

Właściwości fizykochemiczne filmów biopolimerowych zależne są od surowca z jakiego zostały wykonane, modyfikacji zastosowanych podczas ich wytwarzania, warunków i sposobu formowania oraz obecności substancji czynnych i pomocniczych wprowadzonych do struktury polimeru. Właściwości mechaniczne stanowią jedno z ważniejszych kryteriów decydującym o wyborze surowca do produkcji filmów jadalnych. W tym względzie stężenie polimeru, obecność plastyfikatorów i substancji hydrofobowych oraz wilgotność względna otoczenia mają kluczowy wpływ dla kształtowania właściwości mechanicznych takich jak wytrzymałość na zerwanie, podatność na rozciąganie, czy moduł Younga (Pajak i in. 2013).

Składnikami bazowymi filmów i powłok jadalnych mogą być polimery, które są zdolne formować spójną matrycę charakteryzującą się odpowiednią przyczepnością. Do wytwarzania opakowań jadalnych wykorzystuje się białka (żelatyna, kolagen, kazeina, białka mleka i serwatki, itd.), polisacharydy (skrobia, chitozan, pullulan, celuloza i jej pochodne, itd.) oraz lipidy (woski, oleje roślinne, parafiny, żywice). Polimery białkowe wytwarzają zwartą usieciowaną strukturę, utrzymywaną głównie wiązaniami wodorowymi, co pozwala uzyskać materiały charakteryzujące się dobrą barierowością w stosunku do tlenu. Wadą większości białek jest ich znaczne powinowactwo do wody skutkiem czego jest otrzymanie materiałów nie stanowiących skutecznej bariery dla przenikania pary wodnej.

Żelatyna (GEL) stanowi popularny surowiec białkowy wykorzystywany do produkcji opakowań jadalnych w postaci kapsułek. GEL wytwarzana jest poprzez częściową hydrolizę kolagenu - naturalnego składnika kości, skóry i tkanki łącznej. GEL ma specyficzny profil aminokwasowy, gdyż zawiera duże ilości proliny, hydroksyproliny i glicyny. Wodny roztwór GEL w temperaturze poniżej 40 °C tworzy żol, a następnie termoodwracalny żel (Gniewosz i in. 2009; Pajak i in. 2013; Hassan i in. 2017).

W celu aktywacji, filmy biopolimerowe są modyfikowane przez wprowadzanie różnorodnych dodatków funkcjonalnych, w tym przeciwutleniaczy takich jak kwas askorbinowy (AA), tokoferole, czy polifenole. Witamina C jest silnym przeciwutleniaczem występującym głównie w owocach i warzywach. Na skalę przemysłową AA jest wytwarzany z glukozy (Rutkowski 2003). Właściwości antyoksydacyjne AA oparte są na zdolności donacji wodoru. Dzięki transferowi elektronów związek bardzo szybko „zmiata” wolne rodniki. Ponadto skutecznie działa jako pochłaniacz tlenu i chelator prooksydacyjnych jonów metali (Brewer 2011). Dzięki tym mechanizmom AA chroni oksydlalne składniki żywności (lipidy, substancje zapachowe, barwniki) przed utlenieniem. W produkcji żywności stosowany jest m.in. w celu stabilizacji barwy przetworów mięsnych, hamowania utleniania lipidów w farszach i przetworach rybnych, zapobiegania zmianom zapachu w produktach, czy zachowania klarowności soków i win w trakcie przechowywania. AA jest bardzo dobrze rozpuszczalny w wodzie (w zimnej wodzie -0,33 g/ml; w gorącej wodzie - 0,5 g/ml) co znacznie ułatwia jego stosowanie. Alternatywą dla AA są jego sole (E301-E304) (Janda i in. 2015). Jednym z popularnych związków wykorzystywanych w przemyśle spożywczym jest askorbinian sodu (SA), który stosowany jest jako przeciwutleniacz, regulator kwasowości oraz stabilizator. W porównaniu do kwasu askorbinowego, wolniej reaguje z azotynami oraz inhibituje reakcje tworzenia się nitrozoamin, dlatego wykorzystywany jest do peklowania mięsa. Dużym atutem SA jako dodatku do opakowań jadalnych jest jego alkaliczny charakter i smak. W odróżnieniu od AA, SA nie jest kwaśny i dlatego lepiej sprawdza się od niego u osób z dolegliwościami żołądkowo-jelitowymi. SA charakteryzuje się delikatnym słonawo-mydlanym smakiem, co przy obecności soli w produkcie nie powinno stanowić problemu sensorycznego dla konsumentów (Madhavi i in. 1995). Należy nadmienić, że pozostałe sole AA (askorbinianu potasu i wapnia) są gorzkie w smaku. Niestety wodne roztwory askorbinianu sodu są wrażliwe na utlenianie, szczególnie w obecności jonów metali ciężkich (Rutkowski 2003).

W niniejszej pracy przedstawiono badania, których celem było określenie wpływu wzrastających stężeń SA (0,5, 1, 2%) na wybrane właściwości fizykochemiczne, mechaniczne oraz optyczne filmów żelatynowych.

2. Materiały i Metody

Do badań wykorzystano GEL wieprzową (Kamis S.A. Polska) oraz SA (Sigma-Aldrich). Filmy otrzymano z 5% (m/m) wodnych roztworów żelatyny zawierających 0,5; 1 i 2% (m/m) SA. GEL rozpuszczono w wodzie destylowanej w temperaturze 90 °C przez 1h. Następnie uzyskany roztwór schłodzono do temperatury 50 °C i dodano SA. Filmy kontrolne otrzymano bez dodatku SA. Filmy formowano przez naniesienie roztworu filmotwórczego w ilości: 0% SA - 32 g, 0,5% SA - 29,09 g, 1,0 % SA - 26,66 g, 2,0 % SA - 22,86 g, na wypoziomowaną płytkę wykonaną z polichlorku winylu (PCV) o powierzchni 13,26 cm², a następnie suszenie w temperaturze 25 °C przez 24 h. Otrzymane filmy poddano klimatyzacji w komorze MLR-350 (Sanyo Electric Biomedical Co.) w temperaturze 25 °C i wilgotności względnej 50% przez 48h.

Grubość otrzymanych próbek (po wycięciu) zmierzono przy użyciu ręcznego grubościomierza (Mitotuyo Serial No, 7327) z dokładnością do 2 μm . Pomiar wykonano w kilku miejscach próbki, następnie wyniki uśredniono. Pomiar pH zarówno filmotwórczych, jak i otrzymanych filmów wykonano z wykorzystaniem pH-metru Elemetron CP-401 przy użyciu elektrody Elmetron EPX-3. pH folii określono po nakropieniu 20 μl wody destylowanej na powierzchnię próbki. W celu określenia zawartości wody (MC) w filmach, próbki o powierzchni 4 cm^2 zważono z dokładnością do 0,001g, a następnie suszono w temperaturze 105°C przez 12 h. Określono ubytek masy próbek, a MC obliczono jako % wody usuniętej z filmów. Pomiar pH i MC wykonano w trzech powtórzeniach. Właściwości mechaniczne filmów określono przy użyciu teksturometru TA-XT2i (Stable Micro Systems, Wielka Brytania). Odstęp pomiędzy uchwytami urządzenia ustawiono na 30 mm. Próbki folii (2×5 cm) poddano jednokierunkowemu rozciąganiu wzdłuż głównej osi, przy stałej prędkości wynoszącej 1 mm/s. Pomiar wytrzymałości mechanicznej filmów przy statycznym rozciąganiu wykonano w co najmniej ośmiu powtórzeniach. Wytrzymałość na zerwanie (TS), wydłużenie względne (E) oraz moduł elastyczności (EM) określono na podstawie wzorów:

$$TS \text{ (MPa)} = F_{\text{max}}/A$$

gdzie F_{max} określa maksymalną siłę rozciągania (N), natomiast A początkowy przekrój odcinka pomiarowego próbki (mm^2)

$$E \text{ (\%)} = (\Delta L/L) \times 100$$

gdzie L jest początkową odległością między uchwytami urządzenia, a ΔL przyrostem odległości między uchwytami urządzenia

$$EM \text{ [MPa]} = (\sigma_2 - \sigma_1)/(\epsilon_2 - \epsilon_1)$$

gdzie σ_1 stanowi naprężenie (MPa) mierzone przy wartości wydłużenia względnego $\epsilon_1 = 0,17\%$ i σ_2 to naprężenie (MPa) mierzone przy wartości wydłużenia względnego $\epsilon_2 = 0,5\%$.

Barwę filmów określono przy użyciu kolorymetru (NH310, 3nh, China) i białego tła. Pomiar wykonano w czasie 0 oraz po miesiącu przechowywania, a otrzymane wyniki przedstawiono w systemie CIE $L^*a^*b^*$. Oznaczenie wykonano w trzech powtórzeniach. Przepuszczalność światła (T%) filmów (1x5 cm) zmierzono spektrofotometrycznie (Lambda 40, Perkin-Elmer, Shelton, CT, USA) przy długości fali od 200 do 700 nm. Nieprzezroczystość (O) filmów została obliczona zgodnie z wzorem (Han i Floros 1997):

$$O = A_{600}/x$$

gdzie A_{600} stanowi absorbancję przy długości fali 600 nm, natomiast x to grubość próbki.

Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu STATISTICA 13.1. Różnice pomiędzy wartościami średnimi badanych parametrów weryfikowano testem Fishera, na poziomie istotności $p < 0,05$.

3. Wyniki i dyskusja

Wraz ze wzrastającym stężeniem SA zaobserwowano stopniowy wzrost pH roztworów filmotwórczych, jednak podobny trend nie wystąpił w przypadku kwasowości filmów (Tabela 1). SA jest solą otrzymywaną w wyniku reakcji mocnej zasady i słabego kwasu, w związku z czym wykazuje odczyn znacznie bardziej zasadowy niż GEL (Hiatt i in. 2011), co wyjaśnia dlaczego roztwory filmotwórcze stawały się coraz bardziej alkaliczne. Proces suszenia i odparowywania rozpuszczalnika może być przyczyną zaobserwowanego braku spójności pomiędzy kwasowością roztworów filmotwórczych i filmów. Filmy z dodatkiem SA charakteryzowały się znacznie mniejszą MC (średnio 12,77%) w porównaniu do filmów otrzymanej z czystej żelatyny (14,38%, Tabela 1), co prawdopodobnie wynika z obecności większej zawartości suchych składników w filmach inkorporowanych SA.

Funkcjonalność filmów jadalnych zależy przede wszystkim od ich właściwości mechanicznych. Pomiar właściwości mechanicznych pozwala w pewnym stopniu prognozować stopień ich integralności w kontakcie z produktem (Kokoszka i Lenart 2007). GEL pozwala wytworzyć filmy o znacznie wyższej wytrzymałości mechanicznej i sztywności w porównaniu do innych biopolimerów, takich jak skrobia czy białka soi. Znakomita odporność mechaniczna folii żelatynowych została już udokumentowana przez wcześniejsze badania (Kowalczyk i Baraniak 2014; Łupina i in. 2019). Inkorporacja SA spowodowała osłabienie sztywności oraz wytrzymałości

mechanicznej filmów. Zastosowanie wyższych stężeń SA, tj. 1 i 2%, spowodowało znaczny spadek wartości TS (odpowiednio o ~37 i ~61%) w porównaniu do filmu kontrolnego (Tab. 1.). Zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej filmów związane było prawdopodobnie z obniżeniem usieciowania struktury polimerowej wytworzonej przez GEL. Można przypuszczać, że obecność dodatkowego składnika obniżyła siły międzycząsteczkowe odpowiedzialne za spójną strukturę matrycy, w konsekwencji pogarszając jej właściwości mechaniczne. Dodatek kolejnych wzrastających stężeń SA powodował stopniowe zmniejszanie się wartości parametru E badanych folii (Tabela 1). Odmienny wpływ zaobserwowano w badaniach Kowalczyk i in. (2018), które wykazały, że SA jest skutecznym plastyfikatorem filmów otrzymanych na bazie utlenionej skrobi ziemniaczanej (wraz ze wzrostem jego stężenia SA rozciągliwość filmów ulegała poprawie). Zaobserwowana różnica w odmiennym działaniu SA w różnych matrycach można być spowodowana odmiennymi właściwościami polimerów, jak również faktem, że w niniejszych badaniach folie żelatynowe nie były uplastycznione dodatkiem glicerolu. Zaobserwowano, że jedynie 2% stężenie SA spowodowało istotne zmniejszenie wartości EM filmów (Tabela 1).

Tab. 1. Wpływ wzrastających stężeń askorbinianu sodu (SA) na pH roztworów filmotwórczych oraz pH, zawartość wody (MC), wytrzymałość na zerwanie (TS), wydłużenie względne (E) i moduł elastyczności (EM) filmów żelatynowych.

Parametry	Stężenie SA (%)			
	0	0,5	1	2
pH roztworu	5,66±0,00 ^a	5,76±0,00 ^a	5,91±0,01 ^b	6,06±0,08 ^c
pH filmu	5,53±0,06 ^{bc}	5,45±0,01 ^{ab}	5,39±0,02 ^a	5,59±0,05 ^c
MC(%)	14,38±0,39 ^b	12,68±0,62 ^a	12,78±0,93 ^a	12,84±0,37 ^a
TS (MPa)	109,8±2,97 ^c	114,8±9,52 ^c	70,04±4,36 ^b	42,15±8,18 ^a
E (%)	8,25±2,41 ^c	4,45±1,01 ^b	3,66±1,14 ^{ab}	2,47±1,25 ^a
EM (MPa)	1161,49±91,55 ^a	2667,89±83,15 ^c	1812,69±166,35 ^b	961,26±93,70 ^b

^{a-c}Wartości z tymi samymi literami w indeksie górnym nie różnią się znacząco ($p < 0,05$)

Przeprowadzanie pomiarów barwy w czasie 0 oraz po 1 miesiącu przechowywania, pozwoliło wykryć zmiany barwy filmów z dodatkiem SA (Tabela 2), które najprawdopodobniej były związane z degradacją tego składnika. Pomiarzy w czasie 0 wykazały, że kontrolna folia żelatynowa była najjaśniejsza spośród wszystkich badanych próbek, a obecność SA spowodowała nieznaczne pociemnienie próbek (wzrost wartości parametru L*). Wprowadzenie SA do matrycy żelatynowej skutkowało wzrostem wartości parametru a* określającego natężenie barwy czerwonej (Tabela 2). SA w formie proszku charakteryzuje się lekko żółtawym kolorem, co ma zapewne spowodowało znaczny wzrost udziału barwy żółtej (wzrost wartości b*) folii z jego dodatkiem. Wzrastające stężenia SA nie różnicowały istotnie intensywności natężenia koloru czerwonego i żółtego.

Próbki po 30-dniowym okresie przechowywania wykazywały intensywne objawy postępującego procesu brązowienia. W przypadku wszystkich folii zaobserwowano wzrost parametru a* i b*, jednak to dla filmów zawierających SA odnotowano największy wzrost barwy żółtej (Tabela 2). Uzyskane wyniki odzwierciedlają te dotyczące dodatku AA do folii żelatynowych (Kowalczyk 2016). Brązowienie kwasu askorbinowego (AA) może nastąpić w wyniku spontanicznego rozkładu związku (zarówno w warunkach tlenowych, jak i beztlenowych), jak również w wyniku reakcji między produktami degradacji AA i innych związków obecnych w żywności, np. białek. Istnieje wiele czynników które wpływają na szybkość i stopień postępowania procesu brązowienia AA. Należą do nich m.in. temperatura, czas, pH, dostępna ilość tlenu oraz obecność aminokwasów, cukrów i śladowych ilości metali (Gregory, 2008).

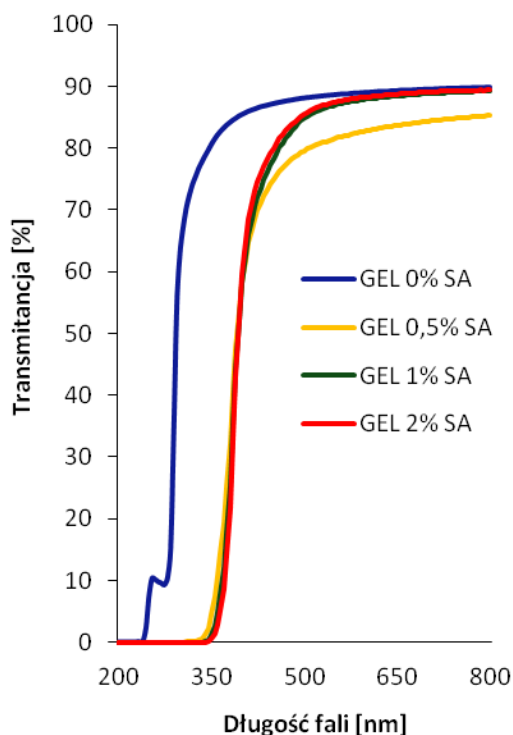
Nieprzezroczystość badanych filmów była stosunkowo zbliżona, chociaż można zauważyć że filmy z dodatkiem SA były bardziej nieprzezroczyste w porównaniu do kontroli. Ekspozycja na słońce i promieniowanie UV ma niekorzystny wpływ na żywność, a zatem istnieje zapotrzebowanie na materiały opakowaniowe, które zapewniają ochronę przed UV. AA ma zdolność znacznego

pochłania promieniowania UV, będąc jednocześnie transparentnym w innych zakresach promieniowania (Berg, 2015). W związku z tym inkorporacja SA tylko nieznacznie zmniejszyła T% filmów w obszarze światła widzialnego i spowodowała znaczny spadek transmitancji w zakresie UV (Rys.1). Zaobserwowano, że nawet najniższe zastosowane stężenie SA (0,5%) pozwoliło całkowicie zablokować promieniowanie zarówno w regionie UV-C (poniżej 280 nm) jak i UV-B (280-315nm). Zaskakujący wydaje się fakt, iż film z najmniejszym stężeniem SA stanowił najlepszą barierę dla promieniowania widzialnego (380-700 nm).

Tab. 2. Barwa filmów żelatynowych inkorporowanych askorbinianem sodu w czasie 0 i po 30 dniach przechowywania oraz nieprzezroczystość (Op) filmów.

Parametry	Czas (ilość dni)	Stężenie SA (%)			
		0	0,5	1	2
L*	0	90,28±0,21 ^d	88,73±0,27 ^c	88,73±0,27 ^c	88,80±0,63 ^c
	30	99,97±0,02 ^f	91,75±0,64 ^e	87,24±0,51 ^a	88,02±0,64 ^b
a*	0	-0,11±0,03 ^a	0,39±0,07 ^b	0,21±0,02 ^b	0,22±0,01 ^b
	30	5,18±0,12 ^d	7,67±0,01 ^e	1,38±0,34 ^c	1,56±0,18 ^c
b*	0	-2,62±0,12 ^a	4,33±0,04 ^c	5,85±0,21 ^c	5,13±0,21 ^c
	30	1,17±0,21 ^b	31,04±2,95 ^d	48,81±0,49 ^e	46,44±1,22 ^e
Op [A/mm]	0	0,60±0,05 ^a	0,78±0,09 ^c	0,071±0,06 ^b	0,70±0,07 ^{ab}

^{a-c} Wartości z tymi samymi literami w indeksie górnym nie różnią się znacząco (p<0,05)



Rys 1. Wpływ dodatku askorbinianu sodu (SA) na przepuszczalność światła (T%) przez filmy otrzymane na bazie żelatyny (GEL).

4. Wnioski

Zasadowy charakter SA spowodował wzrost pH roztworów filmotwórczych. Inkorporacja SA skutkowała wzrostem składników suchej masy w filmach, a tym samym obniżyła w nich zawartość wody. Kontrolne filmy żelatynowe (bez dodatku SA) wykazywały największą wytrzymałość mechaniczną i rozciągliwość. Dodatek SA spowodował obniżenie wytrzymałości mechanicznej i rozciągliwości filmów. Wbrew oczekiwaniom SA nie uplastyczył filmów żelatynowych. Obecność SA spowodowała wzrost udziału barwy żółtej i czerwonej w filmach oraz nieznacznie pogorszyła ich przezroczystość. Dużym atutem filmów żelatynowych inkorporowanych SA była ulepszona zdolność blokowania promieniowania UV. Przedstawione badania pozwalają sądzić że pomimo osłabionych właściwości mechanicznych, żelatyna inkorporowana SA może stanowić dobrą bazę do wytwarzania opakowań jadalnych chroniących żywność przed promieniowaniem UV. Przyszłe badania powinny określić potencjał przeciwutleniający otrzymanych materiałów.

5. Literatura

- Berg RW (2015). Investigation of L(+)-ascorbic acid with Raman spectroscopy invisible and UV light. *Applied Spectroscopy Reviews* 50(3): 193–239.
- Brewer MS (2011). Natural antioxidants: Sources, compounds, mechanisms of action, and potential applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 10(4): 221–247.
- Gniewosz M, Synowiec A, Dyrda M (2009). Zastosowania opakowań jadalnych o aktywności przeciwdrobnoustrojowej w utrwalaniu żywności. *Biotechnologia* 4(87): 40–53.
- Gregory JI (2008). Vitamins. W: Damodaran S. i in., (Red.) Fennema's food chemistry (4th ed.) CRC Press: 467–475.
- Han JH, Floros JD (1997). Casting antimicrobial packaging films and measuring their physical properties and antimicrobial activity. *Journal of Plastic Film & Sheeting* 13(4): 287–298.
- Hassan B, Ali S, Chatha S, i in. (2017). Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review *International Journal of Biological Macromolecules*. *International Journal of Biological Macromolecules* 109: 1095–1107.
- Hiatt AN, Ferruzzi MG, Taylor LS i in. (2011). Deliquescence behavior and chemical stability of vitamin C forms (Ascorbic Acid, Sodium Ascorbate, and Calcium Ascorbate) and blends. *International Journal of Food Properties* 14(6): 1330–1348.
- Janda K, Kasprzak M, Wolska J (2015). Witamina C – budowa, właściwości, funkcje i występowanie. *Pomeranian Journal of Life Sciences* 61(4): 419–425.
- Kokoszka S, Lenart A (2007). Charakterystyka wybranych właściwości fizycznych powłok jadalnych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego* 1: 47–51.
- Kowalczyk D. (2016). Biopolymer/candelilla wax emulsion films as carriers of ascorbic acid- A comparative study. *Food Hydrocolloids* 52: 543–553.
- Kowalczyk D, Baraniak B (2014). Effect of candelilla wax on functional properties of biopolymer emulsion films - A comparative study. *Food Hydrocolloids* 41: 195–209.
- Kowalczyk D i in. (2018). Ascorbic acid- and sodium ascorbate-loaded oxidized potato starch films: Comparative evaluation of physicochemical and antioxidant properties. *Carbohydrate Polymers* 181: 317–326.
- Lupina K, Kowalczyk D, Zięba E i in. (2019). Edible films made from blends of gelatin and polysaccharide-based emulsifiers - A comparative study. *Food Hydrocolloids* 96: 555–567.
- Madhavi DL i in. (1996). Food antioxidants: Technological, toxicological, and health perspectives. New York: Marcel Dekker.
- Pajak P, Fortuna T, Przetaczek-Roznowska I (2013). Opakowania jadalne na bazie białek i polisacharydów - charakterystyka i zastosowanie. *Żywnosc. Nauka. Technologia. Jakość.* 20(2): 5–18.
- Rutkowski A, Gwiazda S, Dąbrowski K (2003). *Kompendium dodatków do żywności*. Wyd. Hortimex, Konin : 144–151.

13. Porównanie zawartości likopenu i właściwości przeciwrodnikowych koncentratów i przecierów pomidorowych

Comparison of lycopene content and antiradical properties of tomato concentrates and purees

Katarzyna Łupina

Katedra Biochemii i Chemii Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Słowa kluczowe: barwa, ABTS^{•+}, karotenoidy

Streszczenie

Produkty z pomidorów stanowią podstawowe źródło likopenu – karotenoidu, który charakteryzuje się silnymi właściwościami przeciwutleniającym. W niniejszej pracy porównano zawartość likopenu oraz właściwości przeciwrodnikowe koncentratów i przecierów pomidorowych dostępnych na lubelskim rynku. Dla wszystkich produktów dodatkowo oznaczono zawartość suchej masy, pH oraz barwę. Na uwagę zasługuje fakt, iż większość badanych koncentratów pomidorowych miała zbliżoną zawartość likopenu (24,6-34,7mg/100g), ale ich aktywność przeciwutleniająca była zróżnicowana (17,92-48,46%). Koncentraty miały dwu- lub trzy-krotnie wyższą aktywność przeciwrodnikową w porównaniu do przecierów pomidorowych. Odnotowano również bardzo silną zależność pomiędzy zawartością likopenu i ilością suchej masy w produkcie ($r=0,94$). W związku z większym stopniem zagęszczenia, koncentraty pomidorowe odznaczały się wyższymi wartościami kwasowości czynnej (pH= 4,33–4,54) aniżeli przecieri (pH=3,98–4,33). Analiza wyróżników barwy produktów wykazała duże różnice w wartościach parametru a^* (barwa czerwona; 7,68 – 11,66) i b^* (barwa żółta; 0,11 – 1,64).

1. Wstęp

Złe nawyki żywieniowe oraz czynniki metaboliczne należą do wiodących czynników ryzyka śmiertelności na świecie. Najczęstszymi przyczynami zachorowalności i przedwczesnej śmierci w krajach rozwiniętych są na ogół choroby niezakaźne, takie jak choroba niedokrwienna serca, udar mózgu i rak. Ważnym elementem w codziennej diecie jest zwiększona podaż owoców i warzyw, które mogą zmniejszyć ryzyko występowania chorób sercowo-naczyniowych, a także niektórych nowotworów. Dzięki różnorodnym mechanizmom wysoka podaż przeciwutleniaczy (karotenoidy, flawonoidy, witamina C, kwas foliowy), błonnika pokarmowego i składników mineralnych może zmniejszać uszkodzenia oksydacyjne i blokować działanie substancji rakotwórczych. Karotenoidy to jedne z głównym pigmentów występujących w prawie wszystkich kolorowych owocach i zielonych warzywach liściastych. Wysokie spożycie karotenoidów wiąże się z różnymi korzyściami zdrowotnymi, m.in. zmniejszonym ryzykiem zwyrodnienia plamki żółtej i zaćmy powiązanej z wiekiem, chorobą wieńcową serca i niektórymi nowotworami. Istnieją również dowody korzystnego oddziaływania karotenoidów na funkcje poznawcze (Eggersdorfer i Wyss 2018).

Jednym z kluczowych karotenoidów jest likopen. Cząsteczka tego związku zawiera 13 podwójnych wiązań, w tym 11 sprzężonych. W naturze wszystkie podwójne wiązania znajdują się w konfiguracji trans. Ekspozycja na światło słoneczne, przechowywanie, termiczna obróbka oraz trawienie i wchłanianie sprzyja izomeryzacji cząsteczki likopenu z trans do cis. Uważa się, że taka konwersja zwiększa biodostępność związku. Głównym źródłem likopenu w diecie są pomidory i ich przetwory, które stanowią około 80% całkowitego spożycia tego związku. Inne produkty, które mogą stanowić źródło likopenu to arbuz, różowy grejpfrut, morela, różowa guawa i papaja. Likopen charakteryzuje się najwyższym potencjałem przeciwutleniającym wśród wszystkich karotenoidów (jest dwukrotnie silniejszy niż β -karoten). Jest około 10 razy efektywniejszy od α -tokoferolu. Szczególnie skutecznie wygasa anionorodnik ponadtlenkowy, natomiast izoformy cis charakteryzują się efektywnym działaniem przeciwko rodnikom nadtlenowym. Metabolizm likopenu rozpoczyna się w momencie gdy związek trafia do żołądka, a następnie dwunastnicy. Na tym etapie

skuteczność uwalniania likopenu będzie zależała od fizycznego rozmieszczenia karotenoidu w spożytej żywności, rozmiaru cząstek osiągniętego podczas żucia pokarmu i wydajności enzymów trawiennych. Wchłanianie likopenu zmniejsza się jeżeli w treści żołądka znajdują się duże ilości błonnika, substytutów tłuszczu, steroli roślinnych czy leków powodujących obniżenie poziomu cholesterolu. Po rozpuszczeniu uwolnionego likopenu w dużych kroplach lipidów w żołądku lub jelicie, jest on poddawany działaniu soli żółciowych i lipazy trzustkowej. W jelicie cienkim może dochodzić do wchłaniania likopenu na drodze transportu biernego lub z udziałem transporterów karotenoidów znajdujących się w nabłonku jelita. Likopen opuszcza komórkę błony śluzowej w chylomikronach, które są wydzielane przez układ limfatyczny do krwi. Związek trafia do wątroby, gdzie tworzy kompleksy z lipoproteinami, które trafiają do osocza i są głównymi nośnikami karotenoidów i likopenu w ludzkim ciele (Srivastava i Srivastava 2015; Costa-Rodrigues i in. 2018).

Główną wadą likopenu jest jego niska biodostępność, która zależy nie tylko od formy izomerycznej, ale także od rodzaju matrycy, w której się znajduje (obecności innych składników pokarmowych). Szybkość i stopień wchłaniania oraz przyswajania likopenu w dużej mierze zależy od indywidualnych predyspozycji organizmu. Biodostępność likopenu i innych karotenoidów jest słabo znana i wymaga ciągłych badań. Wykazano, że lokalizacja likopenu w chloroplastach owoców i warzyw ogranicza jego biodostępność, ponieważ charakteryzują się one wysoką odpornością na trawienie w żołądku i jelitach. Znaczna część likopenu pochodzącego z codziennej diety jest wydalana z ludzkiego ciała w niestrawionej formie. Dodatkowo dystrybucja likopenu wśród tkanek jest bardzo selektywna, największe stężenie substancji odnotowano w jądrach, nadnerczach, wątrobie i prostaty (Petyaev 2016).

Głównym celem niniejszej pracy było określenie zawartości likopenu i właściwości przeciwutleniających wybranych koncentratów i przecierów pomidorowych dostępnych na lubelskim rynku. Dodatkowo, określono wybrane parametry fizykochemiczne produktów (zawartość suchej masy, pH, barwa) oraz zbadano zależności występujące pomiędzy ww. wyróżnikami jakości.

2. Materiały i metody

Przedmiotem badań było 11 koncentratów (K1 – K11) i 3 przeciery pomidorowe (P1-P3) dostępne na lubelskim rynku. Ogólny skład produktów wykorzystanych do badania przedstawiono poniżej:

K1-K11–30% zawartość ekstraktu (stopień zagęszczenia produktów);

P1 - pomidory 99%, sól, regulator kwasowości;

P2 - pomidory 100%, sól;

P3 –zawartość ekstraktu nie mniej niż 7,5%, pomidory 99,5%, sól.

Zawartość likopenu oznaczono z wykorzystaniem metody spektrofotometrycznej opisanej przez Fish i in. (2002). Do 0,5 g próbki produktu dodano 5 cm³ acetonu zawierającego butylohydroksytoluen (0,05% w/v), 5 cm³ 99,8% etanolu i 10 cm³ heksanu. Mieszaninę ekstrahowano poprzez wytrząsanie przez 1h z prędkością 250 obr/min. Następnie dodano 3 cm³ wody dejonizowanej i próbki wytrząsano ponownie przez 5 minut. Po tym czasie próbki pozostawiono na 5 min w celu separacji faz, po czym mierzono absorbancję fazy heksanowej przy długości fali $\lambda=503$ nm wobec heksanu jako próby kontrolnej. Zawartość likopenu wyliczono na podstawie wzoru (Javanmardi i Kubota (2006):

$$\text{Zawartość likopenu (mg/kg)} = (x/y) \cdot A_{503} \cdot 3,12$$

gdzie: x- ilość heksanu (ml), y- masa próbki (g), A_{503} - absorbancja przy długości fali 503 nm, 3,12- współczynnik ekstynkcji likopenu.

Właściwości przeciwutleniające określono wobec ABTS^{•+} zgodnie z procedurą opisaną przez Miller i in. (1993). Próbkę produktu (1 g) wytrząsano przez 10 min z 10 cm³ wody destylowanej. Rozcieńczone produkty poddano wirowaniu przez 10 minut z prędkością 15 000 obr/min. Do kuwety pomiarowej spektrofotometru wprowadzono 1,8 cm³ wodnego roztworu ABTS^{•+} (o stężeniu 7 mmol/dm³, absorbancja ~0,7) i 0,04 cm³ supernatantu. Po upływie 30 minut absorbancję mieszaniny reakcyjnej zmierzono przy długości fali $\lambda=734$ nm. W próbie kontrolnej zamiast ekstraktu dodano

wodę destylowaną (0,04 cm³). Aktywność przeciwutleniającą wyrażono jako % neutralizacji ABTS^{*+}, wyliczony zgodnie ze wzorem:

$$\text{Neutralizacja ABTS}^{*+} (\%) = (1 - \text{Ab}/\text{Ak}) \cdot 100$$

gdzie Ab określa absorbancję próbki badanej po upływie 30 minut, natomiast Ak absorbancję próby kontrolnej w czasie 30 minut.

W celu określenia zawartość suchej masy (SM), 5g produktu poddano suszeniu (105°C, 24h). Zawartość SM obliczono ze wzoru:

$$\text{SM} (\%) = \text{MP}/\text{E} \cdot 100\%$$

gdzie, MP wyraża masę próbki po wysuszeniu (g), natomiast E początkową masę próbki (g).

Oznaczenie pH wykonano za pomocą pH-metru Elemetron CP-401 z wykorzystaniem elektrody ERH-115. Barwę (CIE L*a*b*) produktów zmierzono przy zastosowaniu kolorymetru NH-310. Przed wykonaniem pomiaru, urządzenie kalibrowano na wzorcu bieli.

Wszystkie analizy wykonano w 3 powtórzeniach. Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu STATISTICA 13.1. (StatSoft Inc., Tulsa, Stany Zjednoczone). Różnice pomiędzy wartościami średnimi badanych parametrów weryfikowano testem Fishera. Współczynniki korelacji (r) pomiędzy parametrami wyznaczono przy pomocy testu korelacji Pearsona.

3. Wyniki i dyskusja

Pomidory zawierają liczne związki charakteryzujące się aktywnością biologiczną i działaniem prozdrowotnym, niemniej jednakich najbardziej znanym składnikiem jest likopen. Uważa się, że zawartość likopenu w przetworach pomidorowych uzależniona jest głównie od jakości użytego surowca, ponieważ stosowanie różnorodnych procesów technologicznych nie prowadzi do strat tego związku. W Tabeli 1 przedstawiono zawartość likopenu w badanych koncentratkach i przecierach pomidorowych. Zawartość likopenu w koncentratkach wynosiła od 24,60 do 34,70mg/100g, co pozwala sądzić, że jakość tego rodzaju produktów dostępnych na lubelskim rynku jest stosunkowo zbliżona. Uzyskane wyniki można porównać do tych uzyskanych przez Piecyk i in. (2016). Wyniki uzyskane przez autorów pokazały, że zawartość likopenu w koncentratkach droższych i tańszych marek wynosiła od 19,8 do 39,3 mg/100g produktu. Zawartość likopenu w koncentratkach pomidorowych może wahać się od 5,4 do 150,0 mg/100g (Skiępko i in.2015). Markowicz i in. (2006) wykazali dużą rozbieżność stężenia likopenu (od 3,80 do 49,46 mg/100 g) w produktach chorwackich.

W porównaniu do koncentratów pomidorowych, w przecierach odnotowano około dwa razy mniej likopenu (16,1-16,4 mg/100g, Tab. 1). Wynik ten związany jest zapewne z większą zawartością wody w produktach (Tab. 1). Oznaczenie zawartości s.m. w badanych produktach, uwydatniło znaczące różnice pomiędzy koncentratami, a przecierami pomidorowymi, tj. koncentraty zawierały ponad 3-krotnie większą ilość s.m. w porównaniu do przecierów. Średnia zawartość s.m. dla przecierów koncentratów wynosiła odpowiednio 6,52 i 23,19% (Tab. 1).

Na Rys. 1 przedstawiono porównanie aktywności przeciwrodnikowej (wobec ABTS^{*+}) wodnych ekstraktów analizowanych produktów. Najwyższą zdolność do neutralizacji wolnych rodników wykazywał koncentrat K4 (48,46%), który jednocześnie charakteryzował się największą zawartością likopenu i suchej masy (Tab. 1). Właściwości przeciwutleniające produktów w dużej mierze zależały od zawartości likopenu, co potwierdza silna dodatnia korelacja (r=0,74) pomiędzy ilością likopenu, a zdolnością „zmiatania” ABTS^{*+}(Tab.3). Niemniej jednak wykazano, że pomimo zbliżonej zawartości likopenu (Tab. 1) aktywność przeciwrodnikowa koncentratów pomidorowych była dość zróżnicowana (Rys. 1). Zaobserwowane różnice mogą wynikać z obecności innych przeciwutleniaczy w produkcie, takich jak pozostałe karotenoidy, kwas askorbinowy, czy związki polifenolowe. Rozbieżność w aktywności antyoksydacyjnej koncentratów pomidorowych została także udokumentowana przez Piecyk i in. (2016), którzy do pomiarów wykorzystali test zmiatania rodnika DPPH. Jeden z produktów charakteryzował się działaniem przeciwutleniającym na poziomie 78,4%, jednak pozostałe koncentraty miały znacznie niższy (nawet dwukrotnie) potencjał antyrodnikowy.

Analizowane przeciery pomidorowe charakteryzowały się słabszą aktywnością przeciwrodnikową (10,46–13,88%) aniżeli koncentraty, co jak wspomniano uprzednio związane było z mniejszym stopniem koncentracji. Wartości uzyskane dla przecierów są również niższe aniżeli te odnotowane dla keczupów. Kowalczyk i Baraniak (2012) oznaczyli aktywność przeciwutleniającą 11 keczupów łagodnych. Autorzy wykazali, że maksymalną zdolność neutralizacji ABTS^{*±} miał keczup ekologiczny (33,8% po 30 minutach reakcji). Stopień zależności pomiędzy aktywnością przeciwrodnikową a zawartością likopenu była umiarkowana ($0,5 < r < 0,7$).

Badane produkty charakteryzowały się różnicowanymi wartościami pH, mieszczącymi się w przedziale od 3,98 do 4,56 (Tab. 1). Koncentraty z uwagi na większy stopień zagęszczenia charakteryzowały się większymi wartościami kwasowości czynnej niż przeciery. Co ciekawe, soki pomidorowe wykazują podobne wartości pH (3,97-4,42) (Suwała 2009) jak analizowane produkty.

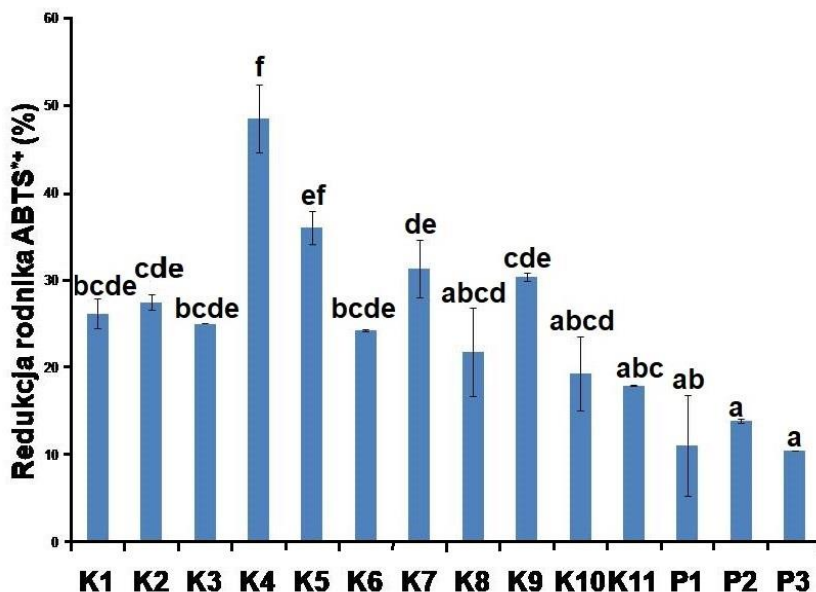
Tab. 1. Zawartość likopenu, suchej masy (s.m.) oraz pH koncentratów (K) i przecierów (P) pomidorowych.

Produkt	s.m. (%)	pH	Zawartość likopenu (mg/100g)
K1	23,59±0,06 ^{de}	4,56±0,01 ^e	32,1±0,43 ^{cd}
K2	22,07±0,15 ^b	4,34±0,05 ^{bc}	33,8±2,42 ^{cd}
K3	23,40±0,13 ^{de}	4,38±0,11 ^c	34,5±1,10 ^{cd}
K4	25,95±0,48 ^f	4,49±0,06 ^d	34,7±1,31 ^d
K5	22,87±0,21 ^c	4,38±0,00 ^c	34,1±1,28 ^{cd}
K6	23,61±0,27 ^{de}	4,34±0,00 ^{bc}	32,7±1,63 ^{cd}
K7	22,91±0,25 ^c	4,35±0,07 ^c	32,8±2,55 ^{cd}
K8	21,83±0,03 ^b	4,35±0,01 ^c	32,2±3,02 ^{cd}
K9	23,77±0,35 ^e	4,41±0,00 ^{cd}	33,9±0,97 ^{cd}
K10	21,85±0,16 ^b	4,39±0,05 ^{cd}	31,8±1,86 ^c
K11	23,28±0,15 ^{cd}	4,34±0,02 ^{bc}	24,6±1,72 ^b
P1	6,55±0,24 ^a	3,98±0,0 ^a	16,4±0,85 ^a
P2	6,44±0,06 ^a	4,24±0,02 ^b	16,1±1,18 ^a
P3	6,56±0,03 ^a	4,34±0,08 ^{bc}	16,1±1,34 ^a

a-f wartości średnie oznaczone tym samym indeksem literowym w obrębie tej samej cechy nie różnią się statystycznie istotnie ($p > 0,05$)

Charakterystyczny ciemnoczerwony kolor produktów pomidorowych, zależy w dużej mierze od zawartości likopenu, który nie tylko jest bardzo silnym przeciwutleniaczem, lecz spełnia również rolę barwnika (Shi i Le Maguer 2000), ale także od temperatury obróbki. Podwyższenie temperatury podczas zagęszczania skutkuje ciemniejszą barwą koncentratu (Barreiro i in. 1997). Wyniki pomiarów wyróżników barwy analizowanych koncentratów i przecierów pomidorowych przedstawiono w Tabeli 2. Analiza statystyczna wykazała, że wszystkie próbki były zróżnicowane pod względem barwy. Interpretacja parametru L* wykazała, że najjaśniejszy był koncentrat K11 (23,57), z kolei najciemniejsze zabarwienie wykazywał koncentrat K7 (20,00). Wszystkie próbki przyjmowały dodatnie wartości parametru a* (określającego barwę czerwoną produktów) mieszcząc się w granicach od 7,58 (P1) do 11,66 (K5). Przeciery przyjmowały wartości parametru a* średnio o 1,34 jednostki mniejsze niż koncentraty. Dodatkowo wartości odnotowano również w przypadku parametru

b*, co świadczy o dużym natężeniu barwy żółtej produktów. Najintensywniejsze żółte zabarwienie odnotowano dla przecierów P2 i P3, zaś najmniejsze dla koncentratu K7.



Rys.1. Porównanie aktywności przeciwrodnikowej koncentratów (K) i przecierów (P) pomidorowych. a-f - wartości średnie oznaczone tym samym indeksem literowym w nie różnią się statystycznie istotnie ($p>0.05$)

Tab. 2. Wyróżniki barwy koncentratów i przecierów pomidorowych.

Produkt	L*	a*	b*
K1	21,76±0,00 ^d	8,99±0,01 ^d	0,40±0,01 ^c
K2	21,65±0,00 ^c	8,31±0,01 ^b	0,31±0,01 ^b
K3	22,24±0,00 ^e	10,45±0,01 ^j	0,78±0,03 ^f
K4	22,14±0,00 ^f	9,20±0,01 ^e	0,44±0,01 ^d
K5	22,08±0,00 ^e	11,66±0,01 ^l	0,98±0,02 ⁱ
K6	22,31±0,00 ^h	10,09±0,02 ^h	0,62±0,01 ^e
K7	20,00±0,00 ^a	9,60±0,02 ^g	0,12±0,01 ^a
K8	23,29±0,07 ^l	10,44±0,00 ^j	0,97±0,02 ⁱ
K9	22,56±3,01 ⁱ	10,49±0,02 ^k	0,91±0,02 ^h
K10	23,25±0,01 ^l	10,33±0,01 ⁱ	0,44±0,01 ^d
K11	23,57±0,00 ^m	10,33±0,00 ⁱ	1,03±0,00 ^j
P1	20,58±0,00 ^b	7,68±0,02 ^a	0,87±0,00 ^g
P2	22,65±0,00 ^j	9,55±0,00 ^f	1,31±0,01 ^l
P3	22,70±0,00 ^k	8,72±0,01 ^c	1,21±0,01 ^k

a-k wartości średnie oznaczone tym samym indeksem literowym w obrębie tej samej cechy nie różnią się statystycznie istotnie ($p>0.05$)

Tab. 3. Wartości współczynników korelacji Pearsona.

Parametr	Zawartość likopenu	Redukcja ABTS ^{*+}	s.m.	pH	L*	a*	b*
Zawartość likopenu	-	0,78	0,94	-0,51	-0,02	0,49	0,20
Redukcja ABTS ^{*+}	0,78	-	0,74	-0,12	-0,19	0,30	0,20
s.m.	0,94	0,74	-	-0,58	0,11	0,52	-0,51
pH	-0,51	-0,12	-0,58	-	-0,18	-0,24	0,20
L*	-0,02	-0,19	0,11	-0,18	-	0,48	0,20
a*	0,49	0,30	0,52	-0,24	0,48	-	0,20
b*	0,20	0,20	-0,51	0,20	0,20	0,20	-

Odnotowano prawie całkowitą zależność pomiędzy zawartością likopenu i s.m. w produkcie ($r=0,94$), oraz dosyć silną korelację pomiędzy zawartością s.m. w produktach oraz zdolnością zmiatania rodników ABTS^{*+} ($r=0,78$) (Tab. 3). Z kolei zauważono brak zależności pomiędzy zawartością likopenu a barwą czerwoną (a*) koncentratów i przecierów pomidorowych ($r=0,49$). Przedstawione zależności wykazały, że jasność (L*) koncentratów i przecierów pomidorowych, również nie stanowi kryterium, od którego zależy zawartość likopenu ($r=-0,02$). Przeprowadzona analiza stanowi ważną informację dla konsumentów, którzy przy wyborze tego rodzaju produktów pomidorowych nie mogą tylko i wyłącznie kierować się intensywnością barwy czerwonej. Zawsze należy uważnie analizować składy produktów, co może przełożyć się na wybór towaru o lepszej jakości i silniejszych właściwościach prozdrowotnych.

4. Wnioski

W niniejszej pracy wykazano związek ($r=0,74$) pomiędzy zawartością likopenu a właściwościami przeciwutleniającymi koncentratów i przecierów pomidorowych. Jeszcze silniejszą korelację odnotowano pomiędzy zawartością likopenu a zawartością s.m. ($r=0,94$). Przedstawione wyniki wskazują, że koncentraty pomidorowe są dużo lepszym źródłem likopenu niż przeciery, a tym samym posiadają lepszy potencjał antyoksydacyjny. Konsumenti, którzy kierują się chęcią zwiększenia podaży likopenu w diecie powinni częściej sięgać po koncentraty, które zawierają nawet dwa razy więcej tego barwnika aniżeli przeciery. Co więcej, warto analizować etykiety produktów i zwracać uwagę na zawartość wody, której duża ilość jest indykatorem niskiej zawartości likopenu. Brak zależności pomiędzy barwą czerwoną i jasnością a zawartością likopenu ($r=0,48$) wskazuje, że nie zawsze można ją wykorzystać do szybkiej oceny zawartości likopenu w koncentratkach i przecierach pomidorowych.

5. Literatura

- Barreiro A, Milano M, Sandoval AJ (1997). Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment. *Journal of Food Engineering* 33: 359 – 371.
- Eggersdorfer M, Wyss A (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 625: 18-26.
- Costa-Rodriguesa J, Pinho O, Monteiro PRR (2018). Can lycopene be considered an effective protection against cardiovascular disease? *Food Chemistry* 245: 1148-1153.
- Javanmardi J, Kubota C (2006). Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 41: 151–155.
- Kowalczyk D., Baraniak B. (2012). Zawartość likopenu i właściwości przeciwutleniające wybranych ketchupów łagodnych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 3: 494-499.
- Marković K, Hruškar M, Vahčić N (2006). Lycopene content of tomato products and their contribution to the lycopene intake of Croatians. *Nutrition Research* 26(11): 556–560.

- Miller N, Rice-Evans C, Davies MJ i in. (1995). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science* 84: 407–412.
- Petyaev IM (2016). Lycopene Deficiency in Ageing and Cardiovascular Disease. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* 3:1–6.
- Pieczek M, Orłowska M, Worobiej E (2016). Zawartość likopenu i potasu a jakość handlowa koncentratów pomidorowych. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna* 3: 378 – 384.
- Shi J, Le Maguer M (2000). Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical Properties Affected by Food Processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40:1–42
- Skiepko N., Chwastowska-Siwiecka I., Kondratowicz J. (2015). Właściwości likopenu i jego wykorzystanie do produkcji żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 103(6): 20-32.
- Srivastava S., Srivastava A.K., (2015). Lycopene; chemistry, biosynthesis, metabolism and degradation under various abiotic parameters. *Journal of Food Science and Technology* 52(1): 41-53.
- Suwała (2009). Analiza jakości wybranych soków warzywnych w aspekcie wymagań Polskiej Normy oraz wytycznych kodeksu praktyki AIJN. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie* 834: 189-203.

14. Wybrane mikroelementy oraz witaminy wspierające prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego człowieka

Selected microelements and vitamins supporting the proper functioning of the human immune system

Sebastian Mertowski, Krzysztof Gosik, Izabela Morawska

Katedra i Zakład Immunologii Klinicznej Uniwersytetu Medycznego w Lublinie

Opiekun naukowy: Dr hab. n.med. Ewelina Grywalska

Sebastian Mertowski: mertowskisebastian@gmail.com

Słowa kluczowe: mikroelementy, witaminy, układ immunologiczny, immunożywienie

Streszczenie

Układ immunologiczny stanowi istotny element obrony organizmu. Na jego działanie wpływa szereg mechanizmów, genetycznych, metabolicznych, czy funkcjonalnych. W każdym z tych mechanizmów niezbędne są składniki budulcowe dostarczane wraz z pokarmem. Długotrwałe niedożywienie, brak mikro i makroelementów może wpływać na osłabienie odporności organizmu w tym na funkcjonowanie cytokin i rozwój komórek układu odpornościowego. Niniejszy artykuł przeglądowy skupia się na mikroelementach oraz witaminach w diecie organizmu wpływających na jego odporność.

1. Wstęp

W ostatnich latach cechy epidemiologiczne wielu przewlekłych chorób zapalnych zmieniły się. Zaburzenia takie jak, reumatoidalne zapalenie stawów, zespół metaboliczny i miażdżyca tętnic charakteryzują się ciągłym, niskim stopniem ogólnoustrojowego zapalenia o nieznanym przyczynach. Istotne są czynniki genetyczne przyczyniające się, w różnym stopniu, do niektórych z tych chorób. Jednakże, badania epidemiologiczne wykazały, że równie ważną rolę odgrywają czynniki środowiskowe, takie jak dieta. Dieta może wpływać bezpośrednio na procesy zapalne a tym samym na układ odpornościowy (Tilg i Mosen 2015). Sam układ odpornościowy jest elementem organizmu mającym za zadanie eliminować patogeny wywołujące infekcje, wykrywać komórki nowotworowe, oraz reagować na uszkodzenia organizmu. Jego wydajne funkcjonowanie jest niezbędne do przetrwania organizmu. W przypadku nie prawidłowej diety, lub diety ubogiej w niezbędne mikro i makroelementy oraz inne składniki takie jak witaminy, może dochodzić do upośledzenia funkcjonowania tego układu a w konsekwencji do osłabienia i zainfekowania organizmu patogenem (Ibrahim i El-Said 2016). Układ odpornościowy jest złożony, rozmieszczony w całym ciele i wysoce aktywny. Odpowiednie składniki odżywcze są niezbędne, aby różnorodne komórki układu odpornościowego działały optymalnie. Składniki pokarmowe pozyskiwane z diety pełnią szereg funkcji m.in. biorą udział w stabilności błony plazmatycznej oraz różnicowaniu i wyrażaniu na jej powierzchni determinant antygenowych. W grę wchodzi wiele układów enzymatycznych, z krytycznymi rolami zdefiniowanymi dla cynku; żelazo; miedź; selen; magnez; witaminy A, B 6, C, D i (Shaik-Dasthagirisaheb i in. 2013). Ekstremalne wartości dietetyczne, zwłaszcza niedożywienie białkowo-energetyczne, mają ogromny wpływ na obniżenie funkcji odpornościowych i zwiększenie ryzyka infekcji oportunistycznych. W raporcie Global Nutrition z 2016 r. Stwierdzono, że jedna trzecia osób na całym świecie jest niedożywiona w takiej czy innej formie (Nieman i Mitmesser 2017) Wśród wielu składników pokarmowych jednymi z najistotniejszych funkcji immunologicznych mają w szczególności mikroelementy takie jak cynk, selen, żelazo, miedź oraz związki takie jak witaminy A, C, E i B6 oraz kwas foliowy (Ibrahim i El-Sayed 2016). Komórki odpornościowe potrzebują substratów paliw energetycznych (glukozy, aminokwasów i kwasów tłuszczowych) i wielu składników odżywczych do podziału i produkcji ochronnych związków; poruszać, pochłaniać i niszczyć patogeny; i wytwarzają białka (np. cytokiny i immunoglobuliny) i mediatory lipidowe (np. prostaglandyny, leukotrieny i wyspecjalizowane mediatory pro-rozdzielające). W związku z powyższym ukształtowała się definicja

immunoodżywiania definiuje się jako stosowanie określonych elementów odżywczych do wspierania i modulowania układu odpornościowego w sposób korzystny dla określonego stanu stresu fizjologicznego, stanu chorobowego lub uszkodzenia. Wsparcie immunoodżywianiem wykorzystuje różne preparaty i drogi podawania. Polecany jest osobom, chorym na raka, słabym osobom starszym oraz w stanach stresu fizjologicznego wynikającego z urazów, poważnych operacji i rozległych obrażeń oparzeniowych (Nieman i Mitmesser 2017).

2. Znaczenie mikroelementów w odporności.

Mikroelementy to składniki odżywcze, które są pierwiastkami niezbędnymi do koordynowania wielu funkcji fizjologicznych. Każdy organizm, ma specyficzne wymagania dotyczące mikroelementów. W przypadku ludzi zapotrzebowanie dzienne na mikroelementy jest na ogół mniejsze niż 100 miligramów, wśród istotnych mikroelementów mających wpływ na odporność cynk, selen, miedź, żelazo (Godswill 2020).

Selen – to pierwiastek na którego zapotrzebowanie w niewielkich ilościach jest istotne dla większości organizmów zwierzęcych. Jest on niezbędny w budowie białek zwanych selenoproteinami. W przypadku układu odpornościowego ma on wpływ na zwiększenie zdolności limfocytów do odpowiedzi na IL-2 poprzez zwiększenie ekspresji receptorów IL-2 na tych komórkach (Terpiłowska i Siwicki 2011). Pobudzenie to zwiększenia liczbę limfocytów, podnosi cytotoksyczności komórek NK oraz produkcję przeciwciał przez komórki B. Ponadto badacze stwierdzili, że wstępne leczenie selenem znacząco hamuje wydzielanie IL-6 w stymulowanych przez LPS ludzkich komórkach raka prostaty. Dodatkowo wykazano, że niedobór selenu wpływa na poziom przeciwciał IgG, IgM i IgA, we krwi, a także na funkcję komórek T. Co więcej, aktywność i długość życia neutrofilii, makrofagów i limfocytów zmniejsza się, być może, z powodu spadku aktywności GSH-PX – Peroksydazy glutationowej. W przypadku badaniach prowadzonych na zwierzętach (krowy) niedobór selenu zmniejszył zdolność neutrofilii znajdujących się we krwi i mleku do zabijania bakterii. Natomiast ograniczenie w migracja chemotaktyczna neutrofilii wywołanej przez niedobór selenu zaobserwowano u kóz. Sytuacja ta odwracała się po podaniu selenu zwierzętom, dzięki czemu migracja neutrofilii i makrofagów zwiększała się. Jednak dodanie Se do bydłęcych neutrofilii i makrofagów zwiększyło ich migrację. Naukowcy sugerują, że selen wpływa na odporność komórkową u krów mlecznych. W innych badaniach na wyizolowanych od zwierząt z niedoborem selenu z krwi obwodowej limfocytach zaobserwowano zmniejszoną odpowiedź na stymulację mitogenem. Wykazano, że niedobór selenu przyczynia się do przyspieszonego postępu choroby i gorszego przeżycia wśród populacji zakażonej wirusem HIV (Terpiłowska i Siwicki 2011)

Cynk – jako pierwiastek śladowym w żywieniu człowieka pełni istotną funkcję w wielu procesach biochemicznych. Jest składnikiem ponad 300 enzymów z sześciu klas. Cynk ma swój udział udział w procesach takich jak: replikacja DNA, transkrypcja RNA, transdukcji sygnału, kataliza enzymatyczna, regulacji procesów utleniania i redukcji, proliferacji komórek, różnicowaniu komórek i apoptozie (Terpiłowska i Siwicki 2011). W przypadku układu immunologicznego cynk odgrywa ważną rolę w podstawowym procesie jakim jest rozwój oraz różnicowanie i funkcjonowaniu komórek będących zaangażowane w odporność wrodzoną jak i nabytą a w szczególności na limfocyty T. Jony Zn^{2+} są istotnym i niezbędnym czynnikiem do rozwoju grasicy, produkcji niedojrzałych limfocytów T, różnicowania naiwnych limfocytów oraz ich ekspansji klonalnej TH1 / TH2. Ponadto Zn jest kluczowy dla prawidłowego rozwoju neutrofilii, komórek NK i makrofagów i komórki B. Niedobór cynku wpływa na fagocytozę, zabijanie wewnątrzkomórkowe i produkcję cytokin. Bierze również udział w ekspresji genów cytokin przeciwzapalnych: IL-2, IL-12, IFN- α i przyrostów cytokiny prozapalnej IL-4 (Gruber i in. 2013) Niedobór cynku zmniejszał produkcję IL-2, a następnie produkcję IL-1 przez komórki jednojądrzaste i zmniejszał cytotoksyczność komórek NK (Terpiłowska i Siwicki 2011).

Miedź – jony miedzi są ważnym metalem w regulacji aktywności niektórych metaloenzymów. W układzie immunologicznym są elementami dysmutazy ponadtlenkowej i odgrywają ważną rolę w odporności. W przypadku badań prowadzonych na myszach otrzymujących nadmiar miedzi przez osiem tygodni wykazywały one stłumioną odpowiedź limfoproliferacyjną indukowaną mitogenem. Jednakże w innych badaniach odpowiedź limfocytów T i B na stymulację

mitogenem była zaburzona, ale u osób z niedoborem miedzi bądź badanych w których osoczu stwierdzono niską zawartość miedzi. Niedobór miedzi w diecie zmniejszył również ilość krążących neutrofilów i zaburzył ich funkcję. Ponadto miedź wzmacnia odpowiedź immunologiczną przeciwnowotworową w modelu nowotworu opornym na leki. (Kafeshani 2014, Ibrahim i El-Sayed 2016).

Żelazo - żelazo jest niezbędnym czynnikiem wzrostu do proliferacji, różnicowania wszystkich żywych komórek. Jest także centralnym regulatorem proliferacji i funkcjonowania komórek odpornościowych. Wszystkie podzbiory limfocytów (limfocyty B i T oraz komórki NK) zależą od wychwytu żelaza za pośrednictwem transferyny. Blokada tego szlaku prowadzi do zmniejszonej proliferacji i różnicowania tych komórek. Wykazano, że limfocyty B są mniej wrażliwe na brak żelaza (Weiss 2005).

Chrom (III) - Chrom jest pierwiastkiem powszechnie występującym w naturze w postaciach trójwartościowych (Cr III) i sześciowartościowych (Cr VI). Chrom VI jest szeroko stosowany w chemikaliach przemysłowych, gdzie chrom III jest stosowany jako mikroskładnik pokarmowy i suplement diety. Chrom jest niezbędny do prawidłowego funkcjonowania insuliny i jest niezbędny do prawidłowego metabolizmu białka, tłuszczu i węglowodanów. Objawy niedoboru chromu u ssaków są następujące: upośledzona tolerancja glukozy, podwyższona krążąca insulina, glikozuria, hiperglikemia na czczo, zaburzony wzrost, podwyższone stężenie cholesterolu i trójglicerydów w krążeniu, zmniejszona liczba receptorów insuliny i upośledzona humoralna odpowiedź immunologiczna. (Terpiłowska i Siwicki 2011).

3. Witaminy zaangażowane w odporność organizmu

Witaminy w przeciwieństwie do pierwiastków będących mikroelementami i makroelementami, wykorzystywanymi w formie jonów są związkami organicznymi. Związki te również muszą być dostarczone do organizmu, ponieważ znaczną ich część organizm nie jest w stanie syntetyzować, lub wytwarzana ich ilość jest nie wystarczająca (Godswill 2020).

Witamina D – Źródłem witaminy D dla człowieka jest, endogenna produkcja zależnej od promieniowania UVB, pozyskiwanie jej pokarmu oraz suplementacji. Niestety niewiele naturalnych, nie wzbogaconych produktów, takich jak tłuste ryby (łosoś, makrela, sardynki, olej z wątroby dorsza) lub niektóre rodzaje grzybów (Shiitake), szczególnie jeśli są suszone, zawierają odpowiednie ilości jednej z dwóch głównych postaci, cholekalcyferolu (witaminy D 3) lub ergokalcyferolu (witaminy D 2) (Prietl i in 2013). W niektórych krajach, takich jak Stany Zjednoczone i Kanada, wzmacniają podstawowe produkty, takie jak produkty mleczne z witaminą D. Dlatego też spożycie witaminy D jest w dużym stopniu zależne od nawyków żywieniowych. Istotną informacją jest że raporty dotyczące globalnego spożycia witaminy D wskazują, że od 6 do 47% spożycia witaminy D może pochodzić z suplementów diety. W konsekwencji, bez suplementacji, status witaminy D silnie zależy od endogennej produkcji witaminy D, na którą wpływ mają również uwarunkowania genetyczne, szerokość geograficzna, pora roku, ocena skóry i styl życia, taki jak stosowanie ochrony przeciwsłonecznej i odzieży (Prietl i in 2013). Witamina ta od wielu lat wiązana była głównie z występowaniem korzystnej korelacji jej ilości oraz poziomem wchłanianego przez organizm wapnia z pokarmu. Jednak nieustające od kilkunastu lat badania cząsteczki witaminy D jak i jej wpływu na organizm, znacząco zmieniły jej postrzeganie. Jedną z ważniejszych przyczyn zmieniających spojrzenie na ten związek, miało odkrycie występowania receptora witaminy D (VDR) i enzymu aktywującego witaminę D 1- α -hydroksylaza (CYP27B1), które wykryto w komórkach nie mających związku z metabolizmem kości, tymi komórkami są komórki takich struktur jak jelito, trzustka, prostata oraz komórki układu odpornościowego (Prietl i in 2013). Odkrycie to spowodowało przypisanie witaminie D szerszego właściwości wpływających na zdrowie człowieka. Jedne z większych zmian odnotowano w dziedzinie immunologii człowieka, poza nerkową syntezą aktywnego metabolitu kalcytriolu - 1,25 (OH) 2D - przez komórki odpornościowe i tkanki obwodowe ma właściwości immunomodulacyjne podobne do miejscowo aktywnych cytokin. Komórki mięśni gładkich dróg oddechowych również wyrażają receptor witaminy D, a ich aktywacja witaminą D3 hamuje wydzielanie mediatorów zapalnych i proliferację w stymulowanych komórkach. W innych typach komórek witamina D moduluje skurcz, stan zapalny. Niedobór witaminy D został powiązany

z wieloma chorobami (9), a kilka danych wykazało silny związek między poziomem witaminy D w surowicy a funkcją tkanek (10). Ostatnio doniesiono, że witamina D3 jest modulatorem odpornościowym, który ma wpływ zarówno na odporność wrodzoną, jak i adaptacyjną. Terapie ukierunkowane na sygnalizację witaminy D3 może zapewnić nowe podejście do zakaźnych i zapalnych chorób skóry, wpływając zarówno na wrodzone, jak i adaptacyjne funkcje odpornościowe. Regulacyjne komórki T (Treg) to komórki T, które potencjalnie hamują szkodliwa odpowiedź immunologiczna. Dwa główne podzbiory Treg to CD25, Foxp3 (+) Treg i Treg wytwarzające IL-10. Różne składniki diety, w tym witamina D3, mają zdolność modulowania odporności i chorób zapalnych (Shaik-Dasthagirisaheb i in. 2013).

Witamina E - Witamina E, głównie tokoferol, jest głównym związkiem wiążącym rodniki nadtlenkowe w biologicznych fazach lipidowych, takich jak białka lub LDL (lipoproteina o niskiej gęstości). Przeciwoxidacyjne działanie witaminy E przypisuje się jej zdolności do działania chemicznego jako lipidowej cząsteczki zrywającej łańcuch wolnych rodników. Doniesiono, że witamina E działa poprzez różne mechanizmy, w tym zmniejszając produkcję mediatora stanu zapalnego poprzez wpływ na sygnalizację komórkową i ekspresję genów, zmniejszając produkcję szkodliwych utleniaczy i promując funkcję bariery jelitowej (Komórki tuczne są aktywowane przez utlenione lipoproteiny (oxLDL), co powoduje zwiększoną ekspresję zapalnych cytokin, takich jak interleukina 8 (IL-8), co sugeruje, że zmniejszenie utleniania LDL przez witaminę E może również zmniejszać aktywację komórek tucznych. Czynniki dietetyczne, środowiskowe i genetyczne, które zmniejszają komórkową zdolność redukującą, zwiększą podatność tkanek na stres oksydacyjny i prawdopodobnie zwiększą ryzyko astmy. Niedobór witaminy E i C w diecie obniża aktywność peroksydazy glutationowej w krwinkach czerwonych i jest związany ze zwiększonym ryzykiem astmy Dlatego utlenianie lipidów jest istotnym procesem w immunosupresji. Oprócz działania immunomodulującego witamina E odgrywa również ważną rolę w karcynogenezie dzięki właściwościom przeciwutleniającym przeciwko i chorobie niedokrwiennej serca ograniczającej postęp miażdżycy poprzez stabilizację płytki miażdżycowej i zapobieganie jej pęknięciu, a następnie tworzeniu się skrzepów (Pekmezci 2011).

Witamina A – Metabolity tej witaminy (szczególnie kwas retinowy) odgrywają ważną rolę w kontrolowaniu wrodzonej jak i nabytej odpowiedzi immunologicznej. Witamina A poprzez wpływ na integralność nabłonka błony śluzowej różnorodność, ilości i profile wydzielania cytokin makrofagów, monocytów, neutrofilów i komórek naturalnych zabójców poprawiają wrodzoną odpowiedź immunologiczną. Wpływa ona również na, dojrzewanie tymocytów, zwiększenie liczby komórek T, a w szczególności subpopulacja CD4 co ma istotny wpływ na odpowiedź adaptacyjną (Kafeshani 2014).

Witamina C – jest witaminą występującą w wielu owocach a jej wykorzystanie w medycynie jako suplement wspierający odporność organizmu jest znane. W przypadku tego kwasu askorbinowego jego niedobory powiązane ze spadkiem aktywności bakteriobójczej oraz poruszenia się neutrofilów i makrofagów (Chandra, 2004). Witamina C swobodnie krąży w osoczu, leukocytach i czerwonych krwinkach i przenika do wszystkich tkanek i płynów ustrojowych u ludzi. Odnotowano, że witamina C jest aktywnie transportowana do leukocytów ludzkiej krwi, utrzymując w ten sposób wysokie stężenie witaminy C, chyba że wystąpi niedobór witaminy C. Uważa się, że witamina C pełni krytyczne funkcje w mózgu, w tym pełni rolę kofaktora hydroksylazy dopaminowej, w związku z czym bierze udział w biosyntezie catecholamin regulujących układ nerwowy. Kwas askorbinowy jest bezpiecznym, dobrze tolerowanym i łatwo dostępnym doustnym przeciwutleniaczem i wydaje się zapobiegać powikłaniom zaburzeń czynności nerek. U ludzi witamina C skraca czas trwania objawów przeziębienia, ale jej wpływ na zapadalność na choroby nie jest jasny, w niektórych badaniach wydaje się, że jej suplementacja nie miała działania zapobiegawczego. W kilku badaniach stwierdzono, że podczas infekcji i stresu stężenie witaminy C w osoczu i leukocytach gwałtownie spada, a suplementacja witaminy C poprawia funkcję ludzkiego układu odpornościowego, taką jak aktywność przeciwdrobnoustrojowa i działanie naturalnych komórek zabójczych, proliferacja limfocytów, chemotaksja. Kwas askorbinowy przyczynia się do utrzymania integralności komórek przeprowadzających reakcje utleniania i redukcji, a tym samym chroni je przed reaktywnymi formami

tlenu Ponadto niedawno odkryto, że witamina C wraz z witaminą E i beta karotenem odgrywają ważną rolę w ochronie radiologicznej komórek. Ponadto ubytek witaminy C w hodowli komórek tucznych *in vitro* koreluje z histaminemią. Czyli mniejsza ilość histaminy, która jest przypisywana roli czynnika ryzyka zdarzeń wieńcowych. Uzasadnione są dalsze badania, które badają mechanizmy i terapeutyczne działanie witaminy C na choroby zapalne (Shaik-Dasthagirisahab i in. 2013).

Witaminy z grupy B - Witamina B6 bierze udział w metabolizmie lipidów, biosyntezie kwasów nukleinowych i białek. Pomaga również w utrzymaniu prawidłowego funkcjonowania nerwów i tworzeniu się erytrocytów (Heinz i in., 2010). Ponadto niedobór witaminy B6 upośledza dojrzewanie limfocytów ich wzrost i proliferację oraz produkcję przeciwciał. Badacze również wykazali, że niski poziom witaminy B6 u osób starszych niekorzystnie wpływa na wytwarzanie IL-2 i odpowiedzi na mitogeny komórek T i B oraz że krótkoterminowa suplementacja zwiększa te wskaźniki funkcji odpornościowej (Ibrahim i El-Sayed 2016). W przypadku kolejnego związku jakim jest witamina B12 w badaniach wykazano, że wzmocniła odpowiedzi proliferacyjną komórek T i zaobserwowano zmniejszenie aktywności bakteriobójczej u pacjentów z niedokrwistością megaloblastyczną i niskim poziomem witaminy B12 w surowicy. Odnotowano również neutropenię i leukopenię u dzieci powiązaną z niską poziomem witaminy B (Ibrahim i El-Sayed 2016, Qian i in 2017).

4. Podsumowanie

Mikroelementy jak i witaminy stanowią istotny czynnik mający wpływ nie tylko na układ odpornościowy ale również na inne układy organizmu. Dlatego też dietetycy powinni zachęcać do przyjmowania różnorodność składników odżywczych dzięki czemu przy odpowiednio zbilansowanej diecie do organizmu będą wprowadzane niezbędne substancje umożliwiające utrzymanie homeostazy organizmu. Pierwiastki takie jak cynk, selen, chrom, żelazo, oraz witaminy A, D, E C, stanowią istotne elementy w metabolizmie komórek układu odpornościowego, a także w eliminacji wolnych rodników. Z pewnością istnieje potrzeba przeprowadzenia znacznie więcej badań nad interakcjami między składnikami odżywczymi a ich funkcją immunologiczną, szczególnie u ludzi. Jednakże istotnym faktem jest że jednym ze sposobów wzmacniania odporności oraz wspomaganie regeneracji organizmu w stanach chorobowych jest odpowiednio zbilansowana dieta.

5. Literatura

- Godswill AG, Somtochukwu IV, Ikechukwu AO, i in. (2020) Health Benefits of Micronutrients (Vitamins and Minerals) and their Associated Deficiency Diseases: A Systematic Review. *International Journal of Food Sciences* 3: 1–32.
- Gruber K, Rink L, (2013) 5 - The role of zinc in immunity and inflammation, in: Calder, P.C., Yaqoob, P. (Eds.), *Diet, Immunity and Inflammation*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing pp. 123–156.
- Heinz J, Kropf S, Domröse U, i in. (2010) B vitamins and the risk of total mortality and cardiovascular disease in end-stage renal disease: results of a randomized controlled trial. *Circulation* 121: 1432–1438.
- Ibrahim KS, El-Sayed EM, (2016) Potential role of nutrients on immunity. *International Food Research Journal* 23 pp. 464-474
- Kafeshani M, (2014) Diet and immune system. *Immunopathologia Persa* 1: e04.
- Nieman, DC, Mitmesser, SH, (2017) Potential Impact of Nutrition on Immune System Recovery from Heavy Exertion: A Metabolomics Perspective. *Nutrients* 9: 513.
- Pekmezci D, (2011) Chapter eight - Vitamin E and Immunity, in: Litwack, G. (Ed.), *Vitamins & Hormones, Vitamins and the Immune System*. Academic Press pp. 179–215.
- Priehl B, Treiber G, Pieber TR, i in. (2013) Vitamin D and Immune Function. *Nutrients* 5: 2502–2521.
- Shaik-Dasthagirisahab YB, Varvara G, Murmura G, i in. (2013) Role of vitamins D, E and C in immunity and inflammation. *Journal of Biological Regulators and Homeostatic Agents* 27: 291–295.

- Terpiłowska S, Siwicki AK (2011) Role of selected microelements: selenium, zinc, chromium and iron in immune system, *Central European Journal of Immunology* 36(4), 303–307.
- Tilg H, Moschen AR, (2015) Food, immunity, and the microbiome. *Gastroenterology* 148, 1107–1119.
- Weiss G, 2005. Modification of iron regulation by the inflammatory response. *Best Practice & Research: Clinical Haematology* 18, 183–201.

15. Charakterystyka właściwości lodów uwarunkowana ich składnikami

Characteristics of ice cream properties conditioned by their ingredients

Sybilla Nazarewicz, Katarzyna Kozłowicz

Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Katarzyna Kozłowicz prof. Uczelni

Sybilla Nazarewicz: sybilla_klap.94@o2.pl

Słowa kluczowe: tłuszcze, stabilizatory, emulgatory, przeciwutleniacze, barwniki

Streszczenie

Celem pracy była analiza i charakterystyka składników stosowanych przy produkcji lodów z uwzględnieniem ich wpływu na właściwości fizyko-chemiczne i jakość końcową produktu. Jakość końcowa lodów jest zdeterminowana jakością i ilością komponentów użytych w procesie produkcji. W skład mieszanki lodziarskiej wchodzi: sucha masa beztłuszczowa, tłuszcze lub oleje, stabilizatory, emulgatory, substancje słodzące, dodatki smakowe oraz barwniki. Sucha masa beztłuszczowa wraz z tłuszczem, powietrzem, emulgatorami i stabilizatorami tworzą strukturę lodów, stabilizują emulsje tłuszczową, wpływają na wielkość powstających kryształków lodu oraz napowietrzania mieszanki, a także wpływają na topnienie lodów podczas konsumpcji. Stąd odpowiedni dobór składników pod względem ilościowym jak i jakościowym pozwala na otrzymanie produktu atrakcyjnego dla konsumenta zarówno pod względem formy, wyglądu jak i smaku.

1. Wstęp

Wynalezienie lodów, a przynajmniej ich prekursorów, przypisywany jest nacjom, najczęściej Chińczykom, Arabom, Egipcjanom, Grekom, Rzymianom blisko 5000 lat temu, gdzie mieszkańcy tych krajów mieszały syropy owocowe z lodem lub śniegiem tworząc pierwsze lody sorbetowe. Z rozwojem techniki zaczęto próbować mrożenia różnego rodzaju kremów, aż do momentu opracowania receptury lodów opartych na mleku, śmietanie, żółtkach oraz cukrze. Były to tak zwane lody francuskie. Lody oparte na naturalnych składnikach cechowały się niską trwałością. Były one wykonywane i od razu spożywane. Potrzeba rozwoju produktu oraz chęć wydłużenia etapu przechowywania spowodowała, że producenci podejmowali badania nad umieszczaniem w lodach dodatków mogących wydłużyć ich przydatność do spożycia. Odchodzono od lodów tradycyjnych na rzecz lodów o coraz to ciekawszym smaku. Dodatki smakowe oraz dodatki w postaci regulatorów i przeciwutleniaczy to była tylko część substancji, które weszły w skład receptury lodowej. Poznanie mechaniki mrożenia produktu oraz zrozumienie złożoności procesu mieszania się składników różnofazowych spowodowało pojawienie się w recepturze dodatków takich jak emulgatory oraz stabilizatory, których zadaniem było otrzymanie odpowiedniej konsystencji i struktury. W obecnym czasie desery lodowe poza bazą lodową składają się z takich składników jak sucha masa beztłuszczowa, tłuszcze lub oleje, stabilizatory, emulgatory, substancje słodzące, dodatki smakowe oraz barwniki, regulatory i przeciwutleniacze (Clarke 2012; Kilara i in. 2006).

2. Opis zagadnienia

Coraz większa potrzeba sprostania wymaganiom konsumentów dotyczących jakości produktów takim jak lody, estetyki, smaku i dostępności w dowolnym okresie wymusza na producentach stosowania, coraz to nowszych dodatków przy ich produkcji oraz tworzenie nowych receptur. Artykuł porusza problematykę znaczenia poszczególnych składników mieszanki lodziarskiej na proces technologiczny oraz znaczenie ich na poszczególnych etapach produkcji. Scharakteryzowane zostały składniki z punktu widzenia czynników kształtujących jakość gotowego produktu oraz ich wpływ na właściwości fizyko-chemiczne lodów.

3. Przegląd literatury

Lody to napowietrzona i zamrożona mieszanina śmietanki i mleka lub soku owocowego, a także węglowodanów, substancji stabilizujących i emulgatorów oraz różnych dodatków smakowo – zapachowych. W zależności od składu surowcowego, można ich podzielić na śmietankowe, zwane też kremowymi, mleczne i wodne. Uszlachetnioną odmianą lodów jest parafit o konsystencji bitej śmietany, nazywany również musem owocowym. Melloryna ma skład zbliżony do lodów śmietankowych, przy czym tłuszcz mlekowy jest zastąpiony tłuszczem roślinnym. Lody jogurtowe łączą w sobie cechy sensoryczne deserów mrożonych, charakteryzujących się jednolitą gładką, kremową i puszystą konsystencją oraz aktywnością biologiczną zawierającą w 1g $10^8 - 10^9$ żywych komórek bakterii probiotycznych. Biorąc za kryterium podziału metodę produkcji, lody możemy podzielić na przemysłowe (produkcja ciągła) i cukiernicze (produkcja periodyczna). Obecne na rynku występuje ogromna różnorodność lodów i deserów mrożonych, producenci bowiem prześcigają się w opracowywaniu nowych kompozycji smakowo-zapachowych. Jakość końcowa lodów jest w dużej mierze zdeterminowana jakością i ilością komponentów użytych w procesie produkcji. W skład składników poza bazą lodową wchodzi: sucha masa beztłuszczowa, tłuszcze lub oleje, stabilizatory, emulgatory, substancje słodzące, dodatki smakowe oraz barwniki (Clarke 2012; Kilara i in. 2006).

3.1 Sucha masa beztłuszczowa

Sucha masa beztłuszczowa stanowi pewną uśrednioną wartość zawartych składników mleka, innych niż woda. Są to głównie białka serwatkowe, tłuszcze, laktoza w przypadku mleka pochodzenia odzwierzęcego oraz sole mineralne. W skład suchej masy wchodzi również kazeina, witaminy, minerały, enzymy i kwasy (Kobyłko 2013). Sucha masa przy produkcji lodów zapewnia prawidłowy przebieg procesu napowietrzania, dzięki czemu gotowy produkt nie jest zbity i ma większą puszystość. Jest też czynnikiem poprawiającym lepkość lodów, co powoduje wydłużenie czasu topnienia (Palka i Palich 2009). Ilość suchej masy nie jest jedynym parametrem, który decyduje o lepkości lodów. Duże znaczenie ma prędkość procesu napowietrzania. Proces napowietrzania uzależniony jest od powstałej błony pęcherzykowej, która początkuje proces odrywania się pęcherzyków powietrza, a inicjalizacja procesu determinuje ilość białka w suchej masie. Ilość białka stabilizuje późniejszy proces odrywania się pęcherzyków powietrza przez kuleczki tłuszczu (Cais-Sokolińska i in. 1998).

3.2 Tłuszcze mlekowe

Tłuszcze w przypadku lodów, których baza lodowa oparta jest na mleku pochodzenia odzwierzęcego stanowi tłuszcz mleczny. Przeważnie jest to mieszanina blisko 400 różnych kwasów tłuszczowych, w tym ok 25% to krótkołańcuchowe i średniołańcuchowe kwasy tłuszczowe. W przypadku dodatku tłuszczowego pochodzenia roślinnego są to oleje roślinne pozyskiwane w procesie tłoczenia nasion. W zależności od użytego surowca uzyskujemy różnorodne walory smakowe. Olej jest bardzo ważnym składnikiem mieszanki lodowej w procesie produkcji lodów. Tworzy on stabilną masę o kremowej konsystencji i aksamitnym smaku. Ilość zastosowanego oleju musi być odpowiednia. Zbyt dużo sprawi, że lody staną się tłuste i za bardzo jednolite, eliminując różnorodność smaków. Zbyt duża ilość spowoduje, że odczuwalna temperatura lodów dla podniebienia będzie dużo wyższa. Natomiast zbyt mała ilość oleju spowoduje za mało kremisty dla podniebienia produkt (Choo i in. 2010). Odpowiednia konsystencja jest wynikiem różnej temperatury krystalizacji oleju w stosunku do temperatury krystalizacji bazy lodowej. Dodatek tłuszczu obniża tendencję lodów do topnienia, a jeżeli ten dodatek wynosi do 12% sprzyja dyspersji powietrza, zwiększa lepkość oraz stabilizująco wpływa na tworzenie małych kryształów lodu. Zawartość tłuszczu powyżej 12% utrudnia proces napowietrzania mieszanki lodziarskiej. Dodatkową zaletą oleju jest absorpcja aromatów i utrzymywanie ich w mieszaninie lodowej. Stanowi on nośnik smaku, dlatego tak ważny jest rodzaj użytego surowca (Kobyłko 2013). Producenci stale poszukują sposobów na zmniejszenie zawartości tłuszczu w lodach. Jednym ze sposobów jest stosowanie różnego rodzaju zamienników. Ponieważ tłuszcz kształtuje cechy reologiczne produktu, jest nośnikiem aromatów, zapewnia utrzymanie właściwej konsystencji, ułatwia napowietrzanie oraz hamuje krystalizację wody, również zamienniki tłuszczu muszą posiadać cechy środków żelujących, zagęszczających oraz

wiążących większe ilości wody. Jako zamienniki tłuszczu stosuje się zamienniki węglowodanowe (skrobie, pektyny, dekstryny, maltodekstryny polisacharydy roślinne, inulina) lub białkowe (żelatyna, kazeina, białka serwatkowe, soja) (Śliwińska i Lesiów 2013). Obiecującą alternatywą stosowania tłuszczu w lodach stała się możliwość wykorzystania strukturyzowanych tłuszczów różnymi żelifikatorami (żeli lipidowych) w postaci oleożeli. Proces powstawania oleożeli jest zależny m.in. od masy cząsteczkowej substancji żelujących, ich polarności i charakteru chemicznego cząsteczek (Patel i Dewettinck 2015). Jego zadaniem jest uzyskanie produktu o delikatnej strukturze, podobnej do tłuszczów stałych, ale o właściwościach odżywczych tłuszczów z przewagą nienasyconych kwasów tłuszczowych (Moriano i Alamprese 2017; Chudy i Pikul 2002).

3.3 Substancje stabilizujące (stabilizatory)

Stabilizatory są to zazwyczaj polimery półsyntetyczne lub pochodne celulozy, których przykładem może być karboksymetyloceluloza, mączka chleba świętojańskiego (E410), guma guar (E412), karagen lub alginian sodu (E401), który jest solą sodową kwasu alginowego (Dłużewska i in. 2003). Stabilizatory jako dodatek mają trzy podstawowe funkcje: w procesie produkcyjnym wspomagają powstanie odpowiedniej struktury, spowalniają proces topnienia w gotowym produkcie oraz wydłużają czas przechowywania. Wspomniane cechy lodów uzyskiwane są na etapie ich napowietrzania. Stabilizatory powodują większą swobodę napowietrzania w całej objętości poprzez równomierne rozmieszczanie pęcherzyków. Umożliwia to łatwiejsze napowietrzanie mieszanki lodowej. Dzięki temu w końcowym efekcie uzyskana zostaje miękka i kremowa konsystencja lodów. Ponadto stabilizatory zapobiegają rozrastaniu się kryształów lodu w mieszaninie podczas zamrażania (Maksimowicz i in. 2006). Dodatkowo wpływają na kształt kryształów lodu minimalizując ich ziarnistości, nadając bardziej regularną formę oraz opróżniają moment ich powstawania. Lepsza struktura, która jest jednolita i równomierna wydłuża proces przechowywania lodów oraz zapobiega powstawaniu rekryształizacji (Clarke 2012). Stabilizatory muszą być dodawane w odpowiedniej ilości, zazwyczaj 0,1- 15%. Zbyt duży dodatek może spowodować, że lody będą gumowate i twarde. Zbyt mała ilość stabilizatorów powoduje wyciekanie wody pod wpływem ciepła, w stanie zamrożonym stają się kruche. Ilość wprowadzonych stabilizatorów zależy m.in. od zawartości suchej masy w mieszance (im wyższa, tym mniejszy dodatek stabilizatorów). Substancje stabilizujące stosowane w produkcji lodów różnią się właściwościami funkcjonalnymi, tempem rozpuszczania, reaktywnością w stosunku do białek mleka itp. W celu uzyskania maksymalnej aktywności stabilizatorów są sporządzane odpowiednie ich mieszaniny, np. karagen może być łączony z gumą arabską, ksantanową lub guarową lub karboksymetylocelulozą (Gajo i in. 2017).

3.4 Emulgatory

Lody są specyficzną mieszaniną wielofazową składająca się głównie z wody i oleju. Te dwie substancje w normalnych warunkach są ze sobą niemieszkalne i nie jest możliwe ich trwałe jednolite połączenie. Do tego celu używa się emulgatorów. Najczęściej stosowanymi emulgatorami są: lecytyna, monocyloglicerole i diacyloglicerole będącymi cząsteczkami glukozy związanymi kwasem oleinowym (Mahungu i Artz 2001). Ułatwiają proces napowietrzania lodów poprzez rozpraszanie drobnych kropli tłuszczu. Emulgatory dodawane są tuż przed procesem zamrażania tak, aby utrwalić otrzymany stan substancji i jednolitą emulsję. Dzięki temu podczas spożywania lodów nie będą odczuwalne grudki lodowe oraz oleistość. Ponadto redukują w znacznym stopniu czas ubijania lodów, co wpływa na skrócenie samego procesu wytwarzania lodów. Uzyskana struktura białkowo-tłuszczowa przez dodanie emulgatora podobnie jak stabilizatory wydłużają czas topnienia lodów (Bolliger i in. 2000; Clarke 2012).

3.5 Substancje słodzące

Substancje słodzące są wprowadzane do mieszanki lodziarskiej w celu nadania lodom odpowiedniej słodkości, ale także umożliwiają powstawanie lodów tzw. miękkich. Lody przeznaczone do bezpośredniego spożycia, które powinny cechować się miękką konsystencją, muszą zawierać odpowiedni poziom substancji słodzących, kształtujących odpowiednio ich temperaturę krioskopową. W przypadku lodów przeznaczonych do długotrwałego przechowywania, które muszą być odpowiednio twarde, poziom substancji słodzących może być znacznie niższy. Wykaz substancji

słodzących oraz ich aktywności słodzącej, stosowanych do produkcji lodów obejmuje cukry proste (glikoza, fruktoza), wielocukry (sacharoza, laktoza, maltoza, maltodekstryny), mieszaniny dwucukrów i cukrów prostych (syropy skrobiowe), a także chemiczne pochodne dwucukrów (słodziki). W ostatnich latach obserwuje się wprowadzanie do produkcji lodów także niskokaloryczne substancje słodzące, otrzymywane na drodze chemicznej, o wysokiej aktywności słodzącej (izomaltuloza, trehaloza, erytrytol, sukraloza) (Krzyżewska i Kozarska 2017). Przy wyborze substancji słodzących oprócz słodkości substancji należy wziąć pod uwagę ich wpływ na obniżenie temperatury krioskopowej mieszanki lodziarskiej. Im większa zawartość substancji słodzących w mieszance, tym możemy uzyskać niższą temperaturę ich zamarzania, co oznacza ich przechowywania w niższych temperaturach. Obniżenie temperatury krioskopowej mieszanki zależy nie tylko od stężenia substancji słodzącej, ale także od jej rodzaju. Cukry proste obniżają temperaturę zamarzania bardziej niż dwucukry, dlatego udział np. glukozy w ogólnej ilości cukrów nie powinien przekraczać 25%. Obniżenie temperatury krioskopowej wiąże się ze zwiększeniem kosztów produkcji wynikających z dodatkowych nakładów energetycznych podczas zamrażania mieszanki lodziarskiej. Dodatek cukrów do lodów podczas ich produkcji to nie tylko intensyfikacja cech smakowo-zapachowych produktu, ale też wpływ na ich strukturę. Substancje te zwiększają lepkość mieszanki oraz poprawiają teksturę uzyskując gładką konsystencję. Odpowiednia konsystencja lodów wydłuża czas ich topnienia w momencie ich spożywania (Clarke 2012; Chudy i Pikul 2002).

3.6 Dodatki smakowe

Dodatki smakowe są szczególną zaletą deserów lodowych. Oprócz atrakcyjności, nadają im nietypowy, a zarazem akceptowalny i pożądany smak (Gutkowska i Trybus 2001). Rozróżniamy dwie możliwości wprowadzania dodatków smakowych do lodów. Przez stworzenie jednorodnej struktury, gdzie dominującym elementem jest jedynie smak, a fizyczne odczucie to kremowy lód oraz umieszczenie w lodach zarówno smaku jak również kawałków elementów, które ten smak oddają podczas jedzenia. Wprowadzenie cząsteczek stałych oraz ich równomierne rozprowadzenie na etapie produkcyjnym jest bardzo skomplikowane zarówno tych w postaci drobin rozpuszczalnych np. czekolady jak również drobin porowatych np. liofilizowanych owoców. Elementy płynne lub proszkowe stanowiące jedynie nośnik smaku dodawane są na etapie mieszania wszystkich składników lub wstępnie łączone z olejem, który ma zdolność pochłaniania aromatów. Następnie proces mieszania powoduje równomierne rozprowadzenie smaku w całej objętości masy lodowej. Dodatki w postaci drobin są dodawane pod koniec procesu tak, aby nie uległy one rozrzedzeniu podczas mieszania. Dodatki smakowe nie zmieniają i nie wzbogacają cech fizycznych lodów, ale ich niewłaściwy dobór lub zastosowanie elementów o wątpliwej jakości może warunkować o słabej trwałości lodów. Niewłaściwy dobór dodatków może mieć wpływ na skrócenie możliwego czasu przechowywania jak również może mieć wpływ na topliwosć produktu podczas spożywania (Clarke 2012).

3.7 Barwniki

Barwa jest nierozzerwalnie związana ze smakiem lodów oraz podnosi ich atrakcyjność. Aby podkreślić użyty smak do mieszaniny lodowej dodaje się barwniki (Polak 2005). Zgodnie z Zarządzeniem Ministra Zdrowia do produkcji lodów można stosować jedynie barwniki naturalne lub syntetyczne identyczne z naturalnymi. Zabronione jest stosowanie barwników syntetycznych organicznych i nieorganicznych. Barwniki mogą mieć różną rozpuszczalność (w wodzie lub tłuszczu), kwasowość, odcień, moc barwy oraz pochodzenie. Barwniki przeważnie są to substancje ekstrahowane z roślin lub owadów. Większość dostępnych barwników to ekstrakty z roślin, np. szpinaku i traw (chlorofil), buraków (betanina), winogron (antocjany), marchwi (karoten) oraz owadów (Gasik i Mitek 2007; Krzyśko-Łupicka i in. 2016). Podczas produkcji lodów barwniki mogą być dodawane do mieszanki lodziarskiej przed lub po pasteryzacji. W pierwszym przypadku należy dobierać takie barwniki, które są odporne na działanie ciepła. Wprowadzanie barwników po pasteryzacji stwarza zagrożenie mikrobiologiczne, mieszanka bowiem narażona jest na zakażenie wtórne przez niewłaściwie dodawane barwników.

4. Podsumowanie

Lody produkowane zarówno przemysłowo jak i cukierniczo muszą spełniać szereg wymagań, przede wszystkim charakteryzować się wysokimi walorami sensorycznymi oraz właściwymi cechami strukturalnymi. W celu uzyskania odpowiedniej struktury i konsystencji, niezbędne jest dobranie odpowiednio składników. Składniki w lodach mają trzy istotne funkcje. Pierwszą z nich jest utrzymanie i zapewnienie odpowiedniego procesu technologicznego. Druga funkcja to uzyskanie odpowiedniego smaku i wyglądu. Trzecia funkcja to zapewnienie produktowi jak najdłuższego terminu przydatności do spożycia. Do składników, które odpowiadają za proces technologiczny należą: sucha masa beztłuszczowa, tłuszcze lub oleje, stabilizatory oraz emulgatory. Dzięki tym składnikom następuje odpowiednie połączenie się fazy wodnej i olejowej oraz zostaje przeprowadzony proces napowietrzania, który zapewnia równomierną i bardzo drobną strukturę uniemożliwiającą powstanie niepożądanych kryształów lodu. Do grupy dodatków, które odpowiadają za walory smakowe odpowiadają substancje słodzące, dodatki smakowe oraz barwniki. Współczesny przemysł stale poszukuje nowych dodatków smakowych, tak aby sprostać preferencjom konsumentów.

5. Literatura

- Bolliger S, Kornbrust B, Goff HD, Tharp BW, Windhab EJ, (2000) Influence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and low-temperature extrusion processing. *International Dairy Journal* 10(7): 497-504.
- Cais-Sokolińska D, Oziemkowski P, Pikul J (1998) Wybrane cechy jakościowe lodów jogurtowych na bazie kultur o tradycyjnym składzie i z dodatkiem kultury probiotycznej. *Żywność. Technologia. Jakość.* 3(16): 87-95.
- Choo SY, Leong SK, Henna Lu FS (2010) Physicochemical and Sensory Properties of Ice-cream Formulated with Virgin Coconut Oil. *Food Science and Technology International* 16(6): 531-541.
- Chudy S, Pikul J (2002) Charakterystyka lodów z zamiennikiem tłuszczu i cukru. *Żywność* 3(32): 18-26.
- Clarke Ch (2012) *The Science of Ice Cream*. RCS Publishing, Cambridge, 13-37, 60-83, 166-181.
- Dłużewska E, Gazda B, Leszczyński K (2003) Wpływ wybranych hydrokoloidów polisacharydowych na jakość koncentratów lodów owocowych. *Acta Sci. Pol. Technologia Alimentaria* 2(1): 97-107.
- Gajo AA, Resende JV, Costa FF, Pereira CG, Lima RR, Antonialli F, Abreu LR (2017) Effect of hydrocolloids blends on frozen dessert “popsicles” made with whey concentrated. *LWT-Food Science and Technology* 75: 473-480.
- Gasik A, Mitek M (2007) Syntetyczne barwniki organiczne w technologii żywności. *Przemysł Spożywczy* 8: 49-53.
- Gutkowska K, Trybus J (2001) Percepcja marek lodów a zachowania nabywcze młodego konsumenta. *Przemysł Spożywczy* 55(5): 36-37.
- Kilara A, Chandan RC, Hui YH (2006) *Ice Cream and Frozen Desserts*. Handbook of Food Products Manufacturing, John Wiley Online Library, Chapter 74: 593–633.
- Kobyłko E (2013) Uwarunkowania technologiczne i techniczne produkcji lodów spożywczych. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 12(3-4): 27-37.
- Krzyško-Łupicka T, Kręciło M, Kręciło Ł (2016) Barwniki w żywności a zdrowie konsumentów. *Kosmos* 65(4): 543-552.
- Krzyżewska I, Kozarska A (2017) Substancje słodzące – charakterystyka, metabolizm oraz metody oznaczania w środowisku wodnym (cz. I); *Technika i Metody* 22(2): 24-26.
- Mahungu SM, Artz WE (2001) *Food Additives: Emulsifiers*. 2nd edition Revised and Expanded. Marcel Dekker, New York, 707–755.
- Maksimowicz K, Grodzka K, Krygier K (2006) Ocena wpływu dodatku celulozy mikrokrystalicznej jako stabilizatora do owocowych lodów wodnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 2(47): 198-205.

- Moriano ME, Alamprese C (2017) Organogels as novel ingredients for low saturated fat ice cream. *LWT -Food Science and Technology* 86: 371-376.
- Palka A, Palich P (2009) Zmiany zawartości wody i jej wpływ na cechy organoleptyczne lodów w czasie przechowywania. *Acta Agrophysica*, 14(3): 701-713.
- Patel AR, Dewettinck K (2015) Comparative evaluation of structured oil systems: Shellac oleogel, HPMC oleogel and HIPE gel. *Eur. J. Lipid Sci. Technol* 117(11), 1772-1781.
- Polak E (2005) Dodatki smakowe w lodach. *Przegląd Piekarski i Cukierniczy*. 110-116.
- Śliwińska A, Lesiów T (2013) Lody jako żywność funkcjonalna – badania konsumenckie. *Nauki Inżynierskie i Technologie*. 1(8): 65-78.

16. Charakterystyka rodzaju lodów z uwzględnieniem aspektów żywieniowych i technologicznych

Characteristics of the type of ice cream taking into account nutritional and technological aspects

Sybilla Nazarewicz, Katarzyna Kozłowicz

Katedra Biologicznych Podstaw Technologii Żywności i Pasz, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr hab. inż. Katarzyna Kozłowicz prof. uczelni

Sybilla Nazarewicz: sybilla_klap.94@o2.pl

Słowa kluczowe: desery lodowe, lody śmietankowe, melloryna, sherbet, cassate

Streszczenie

Celem pracy była charakterystyka różnego rodzaju lodów z uwzględnieniem ich aspektów żywieniowych i technologicznych. W artykule dokonano klasyfikacji deserów lodowych pod względem ich bazy surowcowej. Każdy rodzaj deseru lodowego z uwagi na preferencje konsumenckie zmieniał się na przestrzeni czasu tworząc nowe podgrupy smakowe. W przypadku lodów mlecznych powstały lody śmietankowe, deserowe, jogurtowe oraz melloryna. Natomiast w przypadku lodów wodnych podzielono je na lody owocowe oraz sorbety. Rozwój technologii pozwolił połączyć te dwie grupy lodowe o odmiennych procesach generując powstanie nowych deserów jak sherbety oraz cassate.

1. Wstęp

Desery lodowe cieszą się ogromną popularnością wśród konsumentów od bardzo dawna. Na ogół sięgamy po nie w okresie letnim. Pierwsze lody przypominały obecnie powszechnie spożywane lody sorbetowe. Wykonywane one były przez dodanie do skruszonego lodu syropu owocowego. Rozwój technologii zmienił sposób postrzegania lodów. Pierwsze lody, które nie były oparte na bazie wodnej były to lody mleczne. Składały się one z mleka, śmietanki, żółtek i cukru (Goff i Hartel 2013). Receptura ta została rozpowszechniona we Francji, stąd też nazywane są lodami francuskimi lub tradycyjnymi. Od tego momentu zaczęto eksperymentować z różnego rodzaju recepturami, modyfikując lub wprowadzając różne dodatki (Goff i Hartel 2013, Kobyłko 2013).

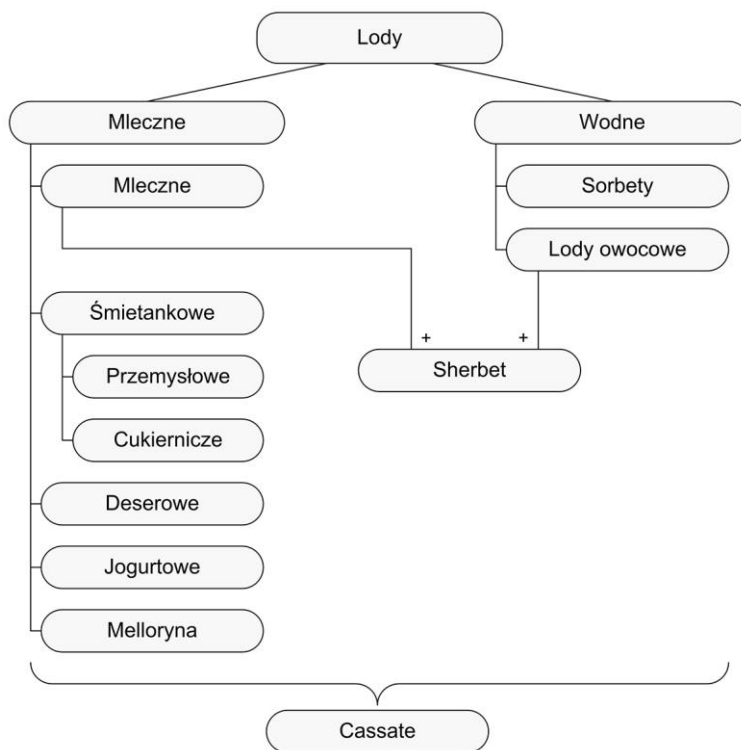
2. Opis zagadnienia

Desery lodowe są znane na świecie blisko 5000 lat. Od momentu, kiedy ludzie zaczęli je spożywać i modyfikować oraz wprowadzać coraz to nowsze bazy lodowe, powstała ogromna ich różnorodność. Klasyfikowano je z uwagi na skład, smak, pochodzenie jak również z uwagi na proces produkcyjny. Praca obejmuje problematykę różnorodności deserów lodowych charakteryzując i klasyfikując je z uwagi na ich rodzaj, dodatki smakowe i proces technologiczny.

3. Przegląd literatury

Lody są produktem otrzymanym przez zamrożenie pasteryzowanej i schłodzonej płynnej mieszanki lodziarskiej, sporządzonej na bazie mleka lub śmietanki, albo też soku owocowego z cukrem, emulgatorem, stabilizatorem, zawierającej substancje smakowo-zapachowe. Mieszanka taka zwykle w czasie zamrażania poddawana jest napowietrzeniu, w związku z czym gotowy produkt zawiera dość dużą ilość powietrza w swej objętości. Biorąc pod uwagę skład chemiczny lodów, są one zamrożoną mieszaniną tłuszczów, nietłuszczowych substancji stałych pochodzących z produktów mlecznych, cukrów, wody, stabilizatora, emulgatora oraz dodatków. Ilość poszczególnych składników i ich proporcje uzależnione są od rodzaju lodów, dlatego też można je podzielić na różne grupy (Kobyłko 2013).

Podział lodów na mleczne oraz wodne wynika z bazy lodowej, na której zostały one oparte (Rys. 1).



Rys. 1. Schemat podziału lodów.

3.1 Lody mleczne

Podstawowym składnikiem lodów mlecznych jest mleko krowie. Pierwsze lody tego rodzaju zostały otrzymane z czterech składników: mleka, śmietanki, żółtek oraz cukru. Receptura ta została sprowadzona do Francji w XVI w. stąd też nazywane są potocznie lodami francuskimi. Lody te oparte wyłącznie na naturalnych składnikach posiadały wadę, którą była krótka przydatność do spożycia. Producenci w związku z tym zaczęli modyfikować receptury lodów zarówno, aby wydłużyć czas możliwy do spożycia jak również, aby uatrakcyjnić produkt pod kątem smakowy. Produkcja lodów mlecznych obejmuje łączenie składników, normalizację, filtrację, pasteryzację, homogenizację, dojrzewanie, zamrażanie, pakowanie oraz hartowanie. Receptura lodów decyduje o funkcjonalnym składzie mieszanki lodziarskiej.

Przygotowaną mieszankę poddaje się homogenizacji, która ma na celu zapobieganie się wydzielenia tłuszczu, poprawę tekstury oraz zwiększa zdolność do napowietrzania. Następnie mieszanina jest poddawana procesowi pasteryzacji. Pasteryzacja mieszanki ma na celu inaktywację mikroflory vegetatywnej. Ze względu na stosowane temperatury i czas ogrzewania rozróżnia się dwa podstawowe sposoby pasteryzowania mieszanki do lodów: pasteryzację wysokotemperaturową (ogrzewanie do +85°C i natychmiastowe szybkie schłodzenie) oraz pasteryzację niskotemperaturową (ogrzewanie do +65°C utrzymywanie temperatury przez 30 min i szybkie chłodzenie). Kolejnym etapem produkcji jest filtracja, która ma na celu uzyskania całkowicie klarownej mieszaniny. Oczyszczona mieszanina jest poddana napowietrzaniu. Proces ten następuje w dwóch etapach. Pierwszy to tworzenie się pęcherzyków powietrza z rozpuszczalnego białka znajdującego się w mieszaninie. Drugi to absorpcja kulek tłuszczowych do pęcherzyków powietrza, które jest wtłaczane. Zabieg ten powoduje powstanie odpowiedniej struktury lodów nadając im odpowiednią

puszystość oraz wydłuża czas topnienia lodów. Po procesie napowietrzania lody są poddawane procesowi zamrażania. Zamrażanie mieszanki przeprowadza się dwustopniowo. Zamrażanie wstępne odbywa się we frezerach i powoduje częściowe zamrożenie mieszanki do temperatury ok -6°C , przy której wymarza się ok. 55% wody. Stosowane frezery są w pełni skomputeryzowane z automatycznym sterowaniem i kompleksowo monitorują wszystkie najważniejsze parametry produkcyjne. Lody po wstępnym zamrożeniu nadają się do konsumpcji (są to tzw. lody miękkie), jednakże nie mogą być dłużej przechowywane, ani transportowane. Aby uniknąć obniżenia jakości lodów podczas przechowywania, stosuje się hartowanie, które ma na celu obniżenie ich temperatury do -18°C i wymrożeniu ok. 80-90% wody. Do hartowania stosuje się tunele chłodnicze owiewowe, gdzie temperatura powietrza zwykle wynosi -30°C , a czas hartowania poniżej 1h (Góral i in. 2018; Góral i in. 2018; Pankiewicz i in. 2019).

3.2 Lody śmietankowe

Producenci zaczęli wzbogacać smak oraz eksperymentować z różnymi dodatkami. Aby podkreślić mleczny smak lodów producenci zaczęli dodawać śmietankę. Dzięki temu powstały lody śmietankowe zwane inaczej Parfait. Produkcja tych lodów jest podobna do metody wytwarzania lodów mlecznych z tą różnicą, że dodana jest śmietanka o zawartości tłuszczu od 10% do 33% w zależności od tego, jaki smak chce się uzyskać. Śmietanka jest dodawana na etapie zamrażania połączonym z mieszaniem i równoczesnym napowietrzaniem. Ilość dodawanej śmietanki stanowi od 20% do 30% całej masy lodowej. Pod względem metody produkcji lody śmietankowe można podzielić na przemysłowe (produkcja ciągła) i cukiernicze (produkcja okresowa). W zależności od temperatury końcowej lodów można je podzielić na nisko zamrożone, zwane miękkimi (temperatura od -3 do -6°C) oraz głęboko zamrożone, nazywane twardymi lub hartowanymi (temperatura od -18 do -30°C) (Erвина i in. 2018).

3.3 Lody deserowe

Lody mleczne oraz lody śmietankowe posiadają wysoką zawartość tłuszczu. Z uwagi na preferencje konsumentów dąży się do obniżenia kaloryczności lodów. Naprzeciw tym wymaganiom wytwarza się lody deserowe lub wyborowe, które cechują się znacznie mniejszą zawartością tłuszczu nieprzekraczającą 14,5%. W celu uzyskania tak niskiej zawartości tłuszczu w lodach stosowane jest mleko niskotłuszczowe lub beztłuszczowe. Potrzebną zawartość tłuszczu, która jest niezbędna do wytworzenia lodów o odpowiedniej konsystencji uzupełniana jest przez dodanie różnego rodzaju olejów roślinnych (Kemsawasd i Chaikham 2019; Surenda Babu i in. 2018).

3.4 Lody jogurtowe

Lody jogurtowe zaliczane są do grupy żywności funkcjonalnej. Najczęściej wytwarzane są w oparciu o proces łączenia klasycznej mieszanki lodziarskiej z jogurtem naturalnym lub owocowym, wprowadzania jogurtu w postaci proszku do mieszanki lub fermentacji mlekowej prowadzonej bezpośrednio w tradycyjnej mieszance lodziarskiej. Każda z tych metod pozwala na otrzymanie produktu o odmiennych cechach. Lody, te dzięki wprowadzaniu jogurtu zamiast mleka krowiego, są bogate w bakterie jogurtowe: *Lactobacillus delbrueckii* i *Streptococcus thermophilus* lub *Bifidobacterium* i *Lactobacillus acidophilus*. Dodanie bakterii powoduje fermentację laktozy. Masa jogurtu staje się bardziej gęsta i zawiera kwas mlekowy, który stanowi naturalny konserwant. Jogurt typu greckiego różni się od naturalnego sposobem powstawania. Proces produkcyjny polega na odsączeniu serwatki z jogurtu naturalnego po przeprowadzeniu procesu koagulacji. Lody jogurtowe w odróżnieniu od lodów mlecznych lub śmietankowych cechuje kremowa konsystencja oraz intensywny kwaskowaty smak (Chanasith i Paemongkol 2017; Arslaner i in. 2019; Şimşek i in. 2019).

3.5 Melloryna

Tradycyjne lody śmietankowe wymagają obecności tłuszczu w swoim składzie, który ma pochodzenie odzwierzęce. W lodach typu Melloryna tłuszcze zostały zastąpione substytutami pochodzenia roślinnego. Przeważnie stosowane są oleje zimno tłoczone z nasion. Lody zawierające w swojej recepturze olej pochodzenia roślinnego charakteryzują się odmiennym smakiem zależnym od użytego oleju. Ponadto olej ma cechę absorpcji aromatów. Dzięki tej zdolności można wzbogacać

intensywność smaku i zapachu dodatków lodowych (Góral i in. 2018; Fuangpaiboon i Kijroongrojana 2017; Widjajaseputra i Widyastuti 2017).

3.6 Lody wodne

Lody wodne w porównaniu do lodów mlecznych różnią się zarówno pod kątem składu jak i procesu wytwarzania. Lody wodne w swoim składzie zawierają wodę i jest to podstawowy składnik receptury. Pozostałe elementy dodawane stanowią smak. Lody wodne są najstarszym, chłodnym deserem (Kozłowicz i Kluza 2009).

3.7 Sorbety

Sorbety są to lody wykonane z lodu i owoców. Proces ich powstawania jest tak prosty, że wiele osób często tego typu deser wykonuje w domu samodzielnie. W przemysłowym procesie pierwszym etapem jest przygotowanie odpowiedniej masy lodowej, gdzie podstawowym składnikiem są owoce. Owoce przechodzą wstępnie przez etap sortowania, mycia i czyszczenia. W zależności od użytych owoców konieczne jest odseparowanie nasion lub pestek, usunięcie szypułek lub też obranie. Tak przygotowane owoce są obierane termicznie w celu pozbycia się bakterii lub drożdży, które występują na owocach. Rozdrobnione owoce są łączone z dodatkami oraz wodą. Otrzymaną mieszaninę poddaje się zamrażaniu oraz mieszaniu, w celu otrzymania drobnych kryształków lodów. Po całkowitym zamrożeniu masy lodowej jest ona porcjowana i pakowana w niezmiennych warunkach (Chanasith i Paemongkol 2017; Kamińska-Dwórznicza i in. 2020; Szydłowska i Zielińska 2019; Kozłowicz i Kluza 2009).

3.8 Lody owocowe

Podobnym produktem do sorbetów są lody owocowe. Charakteryzują się one bardziej intensywnym smakiem. Intensywność wynika ze sposobu przetwarzania produktów. Jest on odmienny niż w przypadku sorbetów. Lody owocowe składają się wyłącznie z owoców bez dodatku wody. Przed procesem zamrażania są one całkowicie przetwarzane, a proces ten jest długotrwały. Owoce w pierwszej kolejności są odpowiednio przygotowywane podobne jak w przypadku sorbetów. Są sortowane, myte i czyszczone. Jeżeli występuje konieczność to są obierane ze skórki, drylowane a miąższ jest oddzielany od pestek. Następnie do przygotowanych owoców jest dodawany cukier. Krótkotrwałe i delikatne mieszanie zapewnia równomierne rozmieszczenie cukru w całej objętości. Mieszanina jest odstawiana na pewien okres czasu aż do momentu, w którym owoce zaczną oddawać sok. Po tym okresie owocowe są poddawane obróbce cieplnej mającej za zadanie zarówno wytworzenie syropu, zmiękczenie owoców, jak również poddanie je procesowi pasteryzacji. Po zakończeniu pasteryzacji owoce są schładzane i poddane procesowi zamrażania z równoczesnym mieszaniem. Tak samo jak w przypadku sorbetów ważne jest, aby uzyskane lody posiadały strukturę drobnokrystaliczną. Wytworzenie lodów kończy etap porcjowania i pakowania (Pavlyuk i in. 2018; Szydłowska i Zielińska 2019; Michalczyk i Kuczewski 2012).

Producenci wychodząc na przeciw oczekiwaniu klientów zaczynają łączyć, że sobą lody wodne oraz lody mleczne. Dzięki temu konsument spożywając lody mogą się delektować zarówno smakiem lodów mlecznych jak i wodnych. Rozróżniamy dwa rodzaje lodów wynikających z ich połączenia: lody typu sherbet oraz typu cassate (Goff i Hartel 2013).

3.9 Sherbety

Sherbety ze względu na skład surowcowy, którego podstawę stanowi wsad owocowy (przecier, kremogen, soki) są mniej energetyczne niż lody mleczne czy śmietankowe. Wstępny proces powstawania lodów przebiega tak jak w przypadku lodów owocowych, czyli uzyskiwany syrop z owoców jest ochładzany, a następnie łączony jest z mlekiem. Do wytworzenia sherbetów stosuje się mleko niskotłuszczowe tak, aby całkowita zawartość tłuszczu w lodach nie przekraczała 3%. Po całkowitym wymieszaniu składników są one poddawane napowietrzaniu. Z uwagi na niską zawartość tłuszczu, białka znajdujące się w mieszaninie nie powodują intensywnego zapoczątkowania tworzenia się pęcherzyków powietrza. Aby umożliwić ten proces, powietrze do mieszaniny jest dostarczane mechanicznie dzięki czemu następuje właściwa absorpcja kulek tłuszczowych do pęcherzyków powietrza. Lody te są bardziej napowietrzone niż typowe lody mleczne, a proces

napowietrzania jest znacznie bardziej wydłużony podczas obniżania temperatury niż w przypadku typowych lodów mlecznych. Obniżanie temperatury do wartości 4°C zatrzymuje proces napowietrzania i mieszania, co powoduje utwardzenie kulek tłuszczowych. W przypadku sherbetów nie jest ważne, aby uzyskana struktura była drobnokrystaliczna a wręcz pożądaną jest, aby struktura miała wyczuwalne kryształiki lodów tak jak w sorbetach. Sherbety posiadają konsystencje i strukturę lodów owocowych, a podczas spożywania wyczuwalny jest posmak lodów mlecznych (de Oliveira Giarola i in. 2019; Basyigit i Hayoglu 2019; Goff i Hartel 2013).

3.10 Cassate

Cassate to lody, które znane są od bardzo dawna. Do nie dawna były to lody trzykolorowe o różnych smakach połączone ze sobą, występujące w jednym opakowaniu. Produkcja tych lodów była uzależniona od smaków poszczególnych warstw. Warstwy te były przygotowywane oddzielnie poczym na taśmie produkcyjnej łączone ze sobą. Z uwagi na to, że były to lody oparte na tej samej bazie, łączenie warstw odbywało się jeszcze przed całkowitym utwardzeniem mieszanin. Dzięki temu uzyskiwany był jeden produkt. Obecnie odchodzi się od klasycznych lodów, które są wykonywane jedynie w obrębie jednego gatunku a zaczyna się łączyć różne gatunki lodów. Proces łączenia lodów mlecznych i wodnych jest bardziej skomplikowany z uwagi na temperatury ich wytworzenia. Lody mleczne muszą mieć precyzyjnie określony przebieg zamrażania, aby uzyskać odpowiednią strukturę, w której kryształy lodowe są bardzo drobne. W przypadku lodów wodnych wymagane jest, aby kryształy lodu były wyczuwalne. Aby sprostać tym problemom wymagane jest łączenie warstw w temperaturze, w której masa mleczna nie spowoduje rozpuszczenia się masy lodów wodnych. W związku z tym lody mleczne na linii produkcyjnej podawane są w stanie podmrożonym, a ich konsystencja jest stała. Lody wodne bezpośrednio w maszynie mieszająco-mrożącej również trafiają na taśmę produkcyjną. Łączenie lodów odbywa się w sposób mechaniczny przez dociśnięcie do siebie warstw, po czym od razu powstały produkt jest zamrażany do temperatury -20°C, a następnie porcjowany i umieszczany w magazynach w temperaturze -18°C.

4. Podsumowanie

Desery lodowe ze względu na bazę surowcową dzielą się na lody mleczne oraz lody wodne. Rozwój technologii, zmiana potrzeb i preferencji konsumenckich narzuca potrzebę opracowywania nowych produktów, które stanowią kolejne podgrupy gatunkowe lodów. Projektowanie technologii produkcji lodów jest procesem złożonym, który wymaga wiedzy z zakresu nie tylko technologii żywności, ale i inżynierii procesowej. Odpowiedni dobór składników pozwala na otrzymanie produktu charakteryzującego się nie tylko odpowiednią wartością odżywczą, ale i jakością. Niewątpliwie produkcja lodów jest obiecującą gałęzią branży spożywczej ze względu na wzrastający popyt na desery lodowe. Duże wymagania konsumentów w odniesieniu do jakości produktu prowadzi do zwiększania nakładów na tworzenie nowych technologii produkcji.

5. Literatura

- Arslaner A, Salik MA, Özdemir S, Akköse A (2019) Yogurt ice cream sweetened with sucrose, stevia and honey: Some quality and thermal properties. *Czech Journal of Food Sciences* 37(6): 446-455.
- Basyigit B, Hayoglu I (2019) Liquorice (glycyrrhiza glabra l.) root sherbet (extract): Microencapsulation and storage stability. *Acta Alimentaria* 48(1): 76-85.
- Chanasith K, Paemongkol P (2017) Product development of Karanda fruit (Carissa Carandas Linn.): Sorbets and yogurt ice-cream. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 12(18): 4687-4692.
- de Oliveira Giarola TM, Pereira CG, Prado MET, de Abreu LR, de Resende JV (2019) Effects of Golden Flaxseed Flour on Ice Recrystallization in Uvaia (Eugenia pyriformis Cambess.) Diet Sherbet. *Food and Bioprocess Technology* 12(12): 2120-2135.
- Ervina, Surjawan I, Abdillah E (2018) The potential of avocado paste (Persea americana) as fat substitute in non-dairy ice cream. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 102(1): 012006.

- Fuangpaiboon N, Kijroongrojana K (2017) Sensorial and physical properties of coconut-milk ice cream modified with fat replacers. *Maejo International Journal of Science and Technology* 11(2): 133-147.
- Goff HD, Hartel RW (2013) *Ice cream*. 7th edition Springer Science, Business Media New York, 19-44, 265-273.
- Góral M, Kozłowicz K, Pankiewicz U, Góral D (2018) Magnesium enriched lactic acid bacteria as a carrier for probiotic ice cream production. *Food Chemistry* 239: 1151-1159.
- Góral M, Kozłowicz K, Pankiewicz U, Góral D, Kluza F, Wójtowicz A (2018) Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. *LWT* 92: 516-522.
- Kamińska-Dwórznička A, Janczewska-Dupczyk A, Kot A, Łaba S, Samborska K (2020) The impact of ι- and κ-carrageenan addition on freezing process and ice crystals structure of strawberry sorbet frozen by various methods. *Journal of Food Science* 85(1): 50-56.
- Kemsawasd V, Chaikham P (2019) Beneficial effectiveness of probiotic-low-fat ice cream containing krueo ma noy (*Cissampelos pareira* L.) gum on colon microbiome under a dynamic gut model. *Food Research* 3(5): 428-440.
- Kobyłko E (2013) Uwarunkowania technologiczne i techniczne produkcji lodów spożywczych. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria* 12(3-4): 27-37.
- Kozłowicz K, Kluza F (2009) Wpływ dodatków napojów alkoholowych na proces zamrażania sorbetów owocowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 1(62): 65-72.
- Michalczyk M, Kuczewski D (2012) Zmiany zawartości składników o charakterze prozdrowotnym w przechowywanych sorbetach z owoców jagodowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 4(83): 66-74.
- Pankiewicz U, Góral M, Kozłowicz K, Góral D (2019) Novel method of zinc ions supplementing with fermented and unfermented ice cream with using PEF. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(6): 2035-2044.
- Pavlyuk R, Pogarska V, Pavlyuk V, Pogarskiy A, Kakadii I, Stukonozhenko T, Telenkov O (2018) The development of new method of production of healthy ice-cream-sorbet of fruits and vegetables with a record bas content. *EUREKA: Life Sciences* 6: 33-40.
- Şimşek B, Aksoy A, Kirhan S, Şahin Topçu D (2019) Effects of mastic gum (*Pistacia lentiscus*) on chemical, rheological, and microbiological properties of yogurt ice cream. *Journal of Food Processing and Preservation* 43(7): e13945.
- Surendra Babu A, Parimalavalli R, Jagan Mohan R (2018) Effect of modified starch from sweet potato as a fat replacer on the quality of reduced fat ice creams. *Journal of Food Measurement and Characterization* 12(4): 2426-2434.
- Szydłowska A, Zielińska D (2019) Wpływ wybranych technologii mrożenia na liczbę bakterii *Lactobacillus casei* 106090, aktywność przeciwutleniającą i cechy sensoryczne sorbetów na bazie fermentowanej pulpy dyniowej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 26(3): 109-121.
- Widjajaseputra AI, Widyastuti TEW (2017) Potential of coconut milk and mung bean extract combination as foam stabilizer in non-dairy ice cream. *International Food Research Journal* 24(3): 1199-1203.

17. Naturalne substancje przeciwdrobnoustrojowe pochodzenia mikrobiologicznego i ich wykorzystanie w technologii żywności

Natural antimicrobial substances of microbiological origin and their use in food technology

Iwona Niedźwiedź, Magdalena Polak - Berecka

Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Żywnienia Człowieka, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Opiekun naukowy: dr hab. Magdalena Polak - Berecka

Niedźwiedź Iwona: koprukowniak.i@gmail.com

Słowa kluczowe: bakteriocyny, natamycyna, konserwacja żywności

Streszczenie

Wraz ze wzrostem świadomości konsumentów dotyczącym jakości żywności, środowisko naukowe poszukuje nowych metod konserwowania żywności. Konwencjonalne techniki utrwalania produktów spożywczych oparte są na działaniu wysokich temperatur, co ogranicza tym samym ich zastosowanie tylko do produktów termostabilnych. Dodatkowo działanie podwyższonej temperatury (ok. 60 – 100°C) wywiera negatywny wpływ na właściwości zarówno organoleptyczne, jak również odżywcze produktu, wymuszając tym samym poszukiwanie alternatywnych rozwiązań. Naturalne środki konserwujące pochodzenia zarówno roślinnego, zwierzęcego jak i mikrobiologicznego są co raz częściej badane pod kątem możliwego zastąpienia klasycznych metod konserwowania żywności. Głównie w tym celu, sprawdzane są właściwości związków pochodzenia bakteryjnego, a zwłaszcza substancje wytwarzane przez bakterie kwasu mlekowego (LAB). Do takich związków możemy m.in. zaliczyć bakteriocyny, które charakteryzują się działaniem przeciwdrobnoustrojowym przy jednoczesnym braku negatywnych skutków na właściwości produktu spożywczego. Celem niniejszej pracy jest charakterystyka naturalnych substancji przeciwdrobnoustrojowych pochodzenia mikrobiologicznego i przedstawienie obecnych doniesień na temat ich potencjalnego wykorzystania w technologii żywności.

1. Wstęp

Rozwój niepożądanych mikroorganizmów w produktach spożywczych może spowodować pogorszenie ich właściwości fizykochemicznych, organoleptycznych oraz odżywczych. Dodatkowo obecność patogennej mikroflory stanowi poważne zagrożenie w zachowaniu bezpieczeństwa żywności ponieważ, może przyczynić się do niekontrolowanego przenoszenia chorób przez zanieczyszczoną żywność. Dlatego skuteczna eliminacja mikroorganizmów z produktów spożywczych wymaga zastosowania odpowiednich środków konserwujących. Powszechnie stosowane metody obejmują m.in. obróbkę termiczną czy też dodatek substancji chemicznych. Natomiast, co raz większym zainteresowaniem cieszą się również nietermiczne metody utrwalania żywności tj. pulsacyjne pole elektryczne (PEF – *pulsed electric field*), wysokie ciśnienia hydrostatyczne (HHP – *high hydrostatic pressure*), czy jedna z nowszych technik, jaką jest zimna plazma (CP – *cold plasma*) (Zhang i in. 2019). Jednakże pomimo to w dalszym ciągu, w głównej mierze wykorzystuje się obróbkę cieplną lub dodatek syntetycznych środków konserwujących. Najczęstszymi chemicznymi substancjami stosowanymi do utrwalania produktów są benzoesany, propioniany sodu, siarczyny, azotany, chlorki, fosforany, kwas askorbinowy, kwas winowy czy cytrynowy. Niestety zastosowanie tych związków wiąże się z licznymi działaniami niepożądanymi. Do najważniejszych z nich należy działanie rakotwórcze, teratogenność, ostra toksyczność oraz powolny okres degradacji, który z kolei może wpłynąć negatywnie na środowisko. Jednym z przykładów negatywnego oddziaływania tych związków jest m.in. działanie siarczyn, które przyczyniają się do degradacji witaminy B1 w żywności, a co więcej, u niektórych konsumentów mogą wywoływać reakcje alergiczne (Gutiérrez-del-Río i in. 2018). Z powyższych względów, w ostatnich latach, naukowcy co raz więcej uwagi poświęcają naturalnym substancjom

przeciwdrobnoustrojowym. Związki te w sposób skuteczny mogą hamować rozwój niepożądaną mikroflory w żywności, przyczyniając się równocześnie do poprawy jakości i trwałości produktów. Pozyskiwane są z różnych źródeł m.in. roślin, zwierząt, glonów, grzybów, ale także z samych mikroorganizmów. Największe znaczenie wśród nich mają lizozym, laktoferyna, olejki eteryczne, związki fenolowe oraz bakteriocyny czy natamycyna (Pisoschi i in. 2018). Pomimo, iż liczne publikacje potwierdzają ich pozytywny wpływ na jakość produktu spożywczego, to na rynku, w dalszym ciągu dostępnych jest niewiele biokonserwantów. Wiąże się to z licznymi wymaganiami jakie muszą spełnić takie substancje przed wprowadzeniem ich do użytku komercyjnego. Celem niniejszego przeglądu jest charakterystyka najważniejszych substancji przeciwdrobnoustrojowych pochodzenia mikrobiologicznego oraz przedstawienie aktualnego stanu wiedzy, na temat ich potencjalnego zastosowania w przemyśle spożywczym.

2. Przegląd literatury

2.1 Substancje przeciwdrobnoustrojowe pochodzenia mikrobiologicznego Bakteriocyny

Bakteriocyny są substancjami toksycznymi, wytwarzanymi zarówno przez bakterie Gram – ujemne, jak również bakterie Gram – dodatnie. Należą do peptydów przeciwdrobnoustrojowych bądź złożonych białek, które syntetyzowane są w rybosomach. Kodowane są przez plazmidy, jak również DNA chromosomalne. Szczególną uwagę naukowcy zwracają na bakteriocyny produkowane przez bakterie kwasu mlekowego (LAB – *lactic acid bacteria*) (O'Connor i in. 2020). Charakteryzują się one tolerancją na wysokie temperatury, są aktywne w szerokim zakresie pH, do ich aktywności wymagane są niskie stężenia, a także, co istotne w przemyśle spożywczym, konserwują żywność bez znaczącego wpływu na jej właściwości sensoryczne (Kaya i in. 2019). Ogólnie można je podzielić na bakteriocyny lantybiotykowe (klasa I) oraz nielantybiotykowe (klasa II). Bakteriocyny lantybiotykowe są to zmodyfikowane posttranslacyjnie peptydy, zawierające w swojej budowie nietypowe aminokwasy np. lanionine czy 3-metylolantionine. Do bakteriocyn nielantybiotykowych należą niezmodyfikowane peptydy o masie poniżej 10 kDa. Związki te przyczyniają się do inhibicji wzrostu niektórych mikroorganizmów, a także mogą działać bójczo. Zwykle słabo hamują wzrost bakterii Gram – ujemnych, ponieważ nie mogą przenikać przez błonę zewnętrzną tych bakterii (O'Connor i in. 2020). Ich mechanizm działania wynika głównie z zakłócenia integralności ściany komórkowej lub zahamowania syntezy białka lub kwasu nukleinowego. Bakteriocyny wiążą się ze składnikami ściany komórkowej poprzez specyficzne lub niespecyficzne wiązanie receptora, co ułatwia tworzenie porów lub bezpośrednią lizę komórek. Chociaż istnieją różne bakteriocyny w przyrodzie (np. nizyna, pediocyna, reuteryna, plantarycyna, helwetyna itp.), nizyna jest jedyną zarejestrowaną przez FDA bakteriocyną GRAS (*generally recognized as safe*) szeroko stosowaną w przemyśle spożywczym.

Kolicyna

Kolicyny są bakteriocynami produkowanymi przez bakterie Gram – ujemne. Kolicyna V została odkryta w 1925 r. i była pierwszą opisaną bakteriocyną produkowaną przez *Escherichie coli*. Związki należące do tej grupy charakteryzują się dużą masą cząsteczkową, która waha się w zakresie od 30 do 80 kDa. Pod względem chemicznym, kolicyna zbudowana jest z trzech funkcjonalnych domen: N-terminalnej, regionem centralnym oraz regionem C-terminalnym. Region N – terminalny odpowiada za przemieszczanie się i interakcję z komórką docelową, natomiast region C-terminalny odpowiedzialny jest za aktywność przeciwdrobnoustrojową (Błaszczuk i Moczarny 2016). Region centralny odpowiada za związanie cząsteczki kolicyny z receptorami na powierzchni komórki wrażliwej, na skutek czego białko transportowane jest do wnętrza membrany bądź środowiska komórki (Błaszczuk i Moczarny 2016).

Mikrocyny

Mikrocyny w porównaniu do kolicyn, charakteryzują się mniejszą masą cząsteczkową, która waha się w zakresie od 1 do 10 kDa. Syntezowane są przez bakterie z rodziny *Enterobacteriaceae* i podobnie jak kolicyny, mogą być kodowane zarówno plazmidowo, jak i chromosomalnie. Związki

te odporne są na działanie proteaz, ekstremalnych temperatur i krańcowych wartości pH. Ich spektrum działania obejmują szczepy blisko spokrewnione (*Klebsiella*, *Citrobacter*, *Salmonella*, *Enterobacter*, czy *Escherichia*). W obrębie tej grupy, wyróżniamy dwie podklasy, które charakteryzują mikrocyyny pod względem masy cząsteczkowej, obecności mostków disiarczkowych oraz modyfikacji posttranslacyjnych. Klasa I obejmują związki o mniejszej masie cząsteczkowej do 5 kDa, które podlegają modyfikacjom posttranslacyjnym, a ich mechanizm działania opiera się na interakcjach z wewnątrzkomórkowymi składnikami. Do klasy II należą związki o masie cząsteczkowej od 5 do 10 kDa, których aktywność przeciwdrobnoustrojowa opiera się na oddziaływaniu z zewnętrznymi strukturami komórkowymi (Błaszczuk i Moczarny 2016).

Nizyna

Najczęściej stosowaną substancją przeciwdrobnoustrojową wytwarzaną mikrobiologicznie jest nizyna. Należy ona do bakteriocyn i jest jedynym naturalnym peptydem przeciwdrobnoustrojowym zatwierdzonym przez FDA, który można stosować jako środek konserwujący żywność (Nazir i in. 2017). Jako dodatek do żywności występuje w Unii Europejskiej pod symbolem E-234 (Carocho i in. 2015). Wytwarzana jest przez bakterie z rodzaju *Lactococcus lactis*, a jej spektrum działania jest ograniczone do bakterii Gram – dodatnich (*Staphylococcus aureus* i *Micrococcus luteus*) i bakterii tworzących zarodniki (*Bacillus cereus* oraz *Clostridium sp.*). Natomiast bakterie Gram – ujemne wykazują oporność na działanie nizyny (Villalobos-Delgado i in. 2019). Wynika to z ich budowy, ponieważ zewnętrzna błona blokuje wniknięcie substancji przeciwdrobnoustrojowej do wnętrza komórki. Poznane są dwa mechanizmy bójcze nizyny. Pierwszy z nich opiera się na powstawaniu porów w błonie komórkowej, co doprowadza do zakłócenia równowagi jonowej. Substancje niskocząsteczkowe znajdujące się wewnątrz komórki wyciekają na zewnątrz przez powstałe ubytki destabilizując prawidłowe funkcjonowanie komórki. Drugi mechanizm opiera się na blokowaniu syntezy peptydoglikanu, który jest głównym składnikiem ściany. Obecnie poznanych jest osiem rodzajów nizyny: (A, Z, F, Q, H, U, U2 i P) (Woraprayote i in. 2016). Badania nad ich skutecznością w przemyśle spożywczym wykazały iż ich dodatek wpłynął na zahamowanie wzrostu drobnoustrojów w wołowinie, mielonej wołowinie, drobiu czy kiełbasach. Stwierdzono również, redukcję liczby bakterii z rodzaju *Listeria monocytogenes* z produktów mięsnych gotowych do spożycia.

Pediocyna

Kolejną bakteriocyną jest pediocyna. Produkowana przez bakterie należące do rodzaju *Pediococcus*, takie jak *P. acidilactici* (Ach, PA-1, JD) oraz *P. pentosaceus* (A, N5p, ST18 i PD1), uznawana jest za bezpieczną – posiada status GRAS. Większość pediocyn charakteryzują się termostabilnością i spektrum działania w szerokim zakresie pH. Związki te wykazują skuteczną inaktywację mikroorganizmów chorobotwórczych, takich jak: *L. monocytogenes*, *E. faecalis*, *S. aureus* i *Clostridium perfringens*. Mechanizm działania pediocyna PA-1 polega na doprowadzeniu do wycieku jonów i małych cząsteczek z komórki (Nazir i in. 2017).

Reuteryna

Reuteryna inaczej nazywana β -hydroksypropionaldehydem (β -HPA) jest produktem pośrednim wytwarzanym przez niektóre szczepy *Lactobacillus reuteri* w procesie konwersji glicerolu do 1,3-propanodiolu. Związek ten jest rozpuszczalny w wodzie, odporny na enzymy proteolityczne i lipolityczne, a także podobnie jak pediocyna jest aktywny w skrajnych wartościach pH. Charakteryzują się szeroką aktywnością przeciwdrobnoustrojową m.in. hamuje wzrost bakterii Gram – dodatnich (*L.monocytogenes*, *S.aureus*), jak również Gram – ujemnych (*E.coli*), drożdży i pleśni (Arques i in. 2004). Mechanizm jej działania polega na indukcji stresu oksydacyjnego w komórkach poprzez modyfikację grup tiolowych w białkach i małych cząsteczkach, co ostatecznie prowadzi do śmierci komórek (Villalobos-Delgado i in. 2019).

Natamycyna

Natamycyna jest organicznym związkiem należącym do antybiotyków makrolidowych polienowych o wzorze sumarycznym $C_{33}H_{47}NO_{13}$. Otrzymywana jest podczas fermentacji przez

bakterie z rodzaju *Streptomyces* (*S. natalensis*, *S. chmanovgensis* i *S. gilvosporeus*). Wykazuje silne działanie przeciwko drożdżom (*Candida*) i pleśniam natomiast praktycznie nie ma wpływu na bakterie, pierwotniaki i wirusy (Duchateau i Van Scheppingen 2018). W przemyśle spożywczym stosowana jest jako konserwant (E235), głównie w produktach mlecznych, zwłaszcza w serze gdzie zapobiega rozwojowi grzybów. Natamycyna jest bardzo skutecznym środkiem przeciwgrzybiczym, ponieważ jej mechanizm działania opiera się na nieodwracalnym wiązaniu z grzybowym ergosterolem, który jest składnikiem błony komórkowej. Doprowadza to tym samym do zablokowania jej przepuszczalności, co uniemożliwia prawidłowe funkcjonowanie komórki (Pisoschi i in 2018).

Kwas mlekowy

Kwas mlekowy, inaczej kwas 2-hydroksypropanowy jest organiczną substancją należącą do hydroksykwasów. Głównymi producentami tego związku są bakterie fermentacji mlekowej. Działanie antybakteryjne kwasu mlekowego przypisuje się zdolności do przenikania przez błony komórkowe, tym samym przyczyniając się do obniżenia pH wewnątrzkomórkowego. Dysocjacji kwasu wewnątrz komórki bakteryjnej towarzyszy: akumulacja anionów toksycznych, hamowanie reakcji metabolicznych, a w zależności od stopnia wytworzonego efektu nawet śmierć. W technologii żywności związek ten wykorzystywany jest jako środek zakwaszający, konserwujący i poprawiający walory smakowe (Komesu i in. 2017).

2.2 Zastosowanie naturalnych środków przeciwdrobnoustrojowych pochodzenia mikrobiologicznego w żywności

Środki przeciwdrobnoustrojowe pochodzenia mikrobiologicznego, w szczególności nizyna, stosowane są w różnego rodzaju żywności m.in. w sokach, mleku, czy mięsie. Ich wykorzystanie ma na celu wydłużenie okresu przydatności do spożycia, bez negatywnego wpływu na właściwości sensoryczne produktu. W celu zwiększenia puli możliwych do zastosowania w przemyśle spożywczym naturalnych substancji antymikrobiologicznych, naukowcy ciągle przeprowadzają badania nad ich efektywnością (O'Connor i in. 2020). W ostatnim czasie odkryto nowe związki, należące do bakteriocyn o potencjalnych właściwościach konserwujących. Substancje te (plantarycyklina A cyklicznej bakteriocyny) produkowane przez szczep *Lactobacillus plantarum* wykazały aktywność przeciwdrobnoustrojową w stosunku do bakterii psującej napoje (*Alicyclobacillus acidoterrestris*), która każdego roku generuje znaczne straty ekonomiczne dla przemysłu (Borrero i in. 2018). Z kolei Gómez-Sala i wsp. (2016) w swoich badaniach wykorzystali jako kulturę ochronną, podczas przechowywania świeżych ryb w warunkach chłodniczych, szczep *Lactobacillus curvatus* BCS35. Mikroorganizm ten jest producentem wielu bakteriocyn i uzyskane przez badaczy wyniki wskazują, iż jego aktywność ograniczyła liczbę bakterii na świeżych rybach, zwiększając tym samym zarówno jakość, jak i wartość handlową produktu (Gómez-Sala i in. 2016). Ciekawe badania przeprowadzili Turgis i in. (2012), którzy badali bakteriocyny produkowane przez LAB. Autorzy sprawdzali wpływ nizyny, pediocyny oraz bakteriocyn MT104 i MT162 wytwarzanych przez *Enterococcus faecium*, a także olejków eterycznych (EO – essential oils) z *Cinnamomum cassia*, *Cymbopogon nardus*, *Brassica hirta*, *Origanum vulgare*, *Thymus vulgaris* i *Satureja montana*, samych i w połączeniu. Każdy czynnik testowano na siedmiu bakteryjnych patogenach przenoszonych przez żywność (*B. cereus*, *E. coli*, *L. monocytogenes*, *S. typhimurium* i *S. aureus*) oraz mikroorganizmach psujących żywność (*Lactobacillus sakei* i *Pseudomonas putida*) *in vitro*. Wyniki wykazały, że stosowanie EO w połączeniu z niziną, pediocyną lub bakteriocyną może powodować synergistyczne lub addytywne działanie w stosunku do kilku patogenów pokarmowych. Dodatkowo, jednoczesne zastosowanie tych związków potencjalnie umożliwia zastosowanie niższych stężeń EO przy takim samym poziomie redukcji mikroorganizmów przenoszonych przez żywność (Patrignani i in. 2015; Turgis i in. 2012).

3. Podsumowanie

Wzrost świadomości konsumenta objawiający się co raz większym zapotrzebowaniem na produkty minimalnie przetworzone wymusza poszukiwanie przez naukowców alternatywnych

środków konserwacji żywności. W tym aspekcie naturalne substancje przeciwdrobnoustrojowe pochodzenia mikrobiologicznego stają się ciekawą alternatywą. Jednakże bezpieczne zastosowanie takich związków w technologii żywności wymaga spełnienia kilku kryteriów. Najważniejszym z nich jest to, by mikroorganizm produkujący biobójczą substancję posiadał status GRAS. Dodatkowo taki związek musi charakteryzować się specyficznymi właściwościami chemicznymi takimi jak: wysoka stabilność na skrajne temperatury i pH, ale także musi być odporny na działanie licznych enzymów. Kolejną kwestią, którą należy spełnić w celu bezpiecznego wprowadzenia nowej substancji na rynek, jest wykluczenie jej potencjalnie negatywnego wpływu na zdrowie konsumenta. Dodatek do żywności biokonserwantu powinien jedynie poprawiać właściwości produktu i wydłużać jego termin przydatności. Dlatego też, konieczne są wnikliwe badania, które umożliwią komercyjne wykorzystanie co raz większej ilości naturalnych substancji w przemyśle spożywczym.

4. Literatura

- Arques JL, Fernandez J, Gaya P i in. (2004) Antimicrobial activity of reuterin in combination with nisin against food-borne pathogens. *International Journal of Food Microbiology* 95 (2): 225-229.
- Błaszczyk U i Moczarny J (2016) Bakteriocyny bakterii Gram-ujemnych—struktura, mechanizm działania i zastosowanie. *Postępy Mikrobiologii* 55(2).
- Borrero J, Kelly E, O'Connor PM i in. (2018) Plantaricyclin A, a novel circular bacteriocin produced by *Lactobacillus plantarum* NI326 :purification, characterization, and heterologous production. *Applied Environmental Microbiology* 84(1): 1801-1817.
- Carocho M, Morales P, Ferreira IC (2015) Natural food additives: Quo vadis?. *Trends in Food Science & Technology* 45(2): 284-295.
- Duchateau ALL, Van Scheppingen WB (2018) Stability study of a nisin/natamycin blend by LC-MS. *Food Chemistry* 266: 240-244.
- Gómez-Sala B, Herranz C, Diaz-Freitas B i in. (2016) Strategies to increase the hygienic and economic value of fresh fish: biopreservation using lactic acid bacteria of marine origin. *International Journal of Food Microbiology* 223:41-49.
- Gutiérrez-del-Río I, Fernández J, Lombó F. (2018) Plant nutraceuticals as antimicrobial agents in food preservation: terpenoids, polyphenols and thiols. *International Journal of Antimicrobial Agents* 52(3): 309-315.
- Kaya Hİ, Özel B, Şimşek Ö (2019) A Natural Way of Food Preservation: Bacteriocins and Their Applications. In *Health and Safety Aspects of Food Processing Technologies Springer Cham* 633-659.
- Komesu A, de Oliveira JAR, da Silva Martins LH Maciel i in. (2017) Lactic acid production to purification: a review. *BioResources* 12(2): 4364-4383.
- Nazir F, Salim R, Yousf N i in. (2017) Natural antimicrobials for food preservation. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 6(6): 2078-2082.
- O'Connor PM, Kuniyoshi TM, Oliveira RP i in. (2020) Antimicrobials for food and feed; a bacteriocin perspective. *Current Opinion in Biotechnology* 61: 160-167.
- Patrignani F, Siroli L, Serrazanetti DI i in. (2015) Innovative strategies based on the use of essential oils and their components to improve safety, shelf-life and quality of minimally processed fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology* 46(2): 311-319.
- Pisoschi AM, Pop A, Georgescu C i in. (2018) An overview of natural antimicrobials role in food. *European Journal of Medicinal Chemistry* 143: 922-935.
- Turgis M, Vu KD, Dupont C i in. (2012) Combined antimicrobial effect of essential oils and bacteriocins against foodborne pathogens and food spoilage bacteria. *Food Research International* 48(2): 696-702.
- Villalobos-Delgado LH, Nevárez-Moorillon GV, Caro I i in. (2019) Natural antimicrobial agents to improve foods shelf life. In *Food Quality and Shelf Life Academic Press.*: 125-157
- Woraprayote W, Malila Y, Sorapukdee S i in. (2016) Bacteriocins from lactic acid bacteria and their applications in meat and meat products. *Meat Science* 120: 118-132.

Zhang ZH, Wang LH, Zeng XA i in. (2019) Non-thermal technologies and its current and future application in the food industry: a review. *International Journal of Food Science & Technology* 54(1): 1-13.

18. Metale ciężkie w ziołach

Heavy metals in herbs

Karolina Nowosad

Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr hab. Monika Sujka, prof. uczelni

Karolina Nowosad: karo.nowosad@gmail.com

Słowa kluczowe: rośliny zielarskie, zanieczyszczenie, toksyczność

Streszczenie

Akumulacja toksycznych substancji w glebie, powietrzu i wodzie stale rośnie ze względu na szybką urbanizację i znaczne zanieczyszczenie środowiska. Najbardziej toksycznymi substancjami są metale ciężkie, które występują wszechobecnie w przyrodzie. Powodują one poważne i szkodliwe skutki dla organizmów żywych, szczególnie dla ludzi. Źródłem metali ciężkich w diecie człowieka są głównie rośliny i produkty roślinne. Rośliny są wrażliwe na warunki środowiskowe, gromadzą metale ciężkie poprzez system korzeniowych, absorpcję dolistną oraz osadzanie określonych pierwiastków na liściach, a intensywność tego procesu zmienia ogólny skład pierwiastkowy rośliny. Niektóre metale ciężkie: arsen, ołów, kadm i rtęć mają działanie toksyczne. Możliwość, że metale ciężkie mogą być przenoszone na ludzi i zwierzęta poprzez stosowanie ziół uprawianych na zanieczyszczonych obszarach, jest poważnym problemem tradycyjnej i ziołowej medycyny.

1. Wstęp

Rośliny i produkty roślinne stosowane były już w starożytności w leczeniu chorób. W dzisiejszych czasach społeczeństwo nadal bardziej preferuje tradycyjne i ziołowe leki niż współczesne leki syntetyczne. Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) 80% światowej populacji używa leków ziołowych (Solimene i in. 2007). Głównymi zaletami tradycyjnego ziołolecznictwa są: skuteczność stosowania, niska częstotliwość działań niepożądanych oraz niski koszt leczenia. Zainteresowanie naturalną medycyną spowodowane jest szybkim rozwojem wielu chorób, które coraz częściej dotyczą współczesne społeczeństwo. Odpowiednio dobrane zioła przynoszą ulgę i prowadzą do zahamowania choroby, a nawet wyleczenia. Stosowanie mieszanek ziołowych pomaga zrehabilitować organizm ludzki, odbudować florę jelitową, wzmocnić układ nerwowy i trawienny. Zioła zawdzięczają swoje właściwości terapeutyczne substancjom biologicznie czynnym, które znajdują się w różnych częściach roślin (Kozak i in. 2016).

Ludzie narażają się na obecność metali ciężkich na różne sposoby, najczęściej poprzez zanieczyszczenie środowiska, które powoduje zanieczyszczenia roślin używanych przez człowieka. Można wyróżnić zanieczyszczenie pochodzenia nieantropogenicznego i antropogenicznego. Zanieczyszczenia nieantropogeniczne, czyli niezwiązane z działalnością człowieka, są procesem dynamicznym, powodowanym głównie przez pedogenezę. Jednak na całym świecie emisje metali ciężkich do środowiska rosną głównie z powodu działań antropogenicznych, takich jak produkcja przemysłowa czy stosowanie nawozów (Zhao i in. 2014). Rośliny mogą wchłaniać zanieczyszczenia z gleby, absorbując je poprzez system korzeniowy lub z powietrza, osadzając zanieczyszczenia na liściach. Spożywanie produktów ziołowych z roślin leczniczych uprawianych w zanieczyszczonych miejscach, może powodować poważne konsekwencje dla zdrowia ludzi. Aby uzyskać pożądane korzyści terapeutyczne, należy zapewnić jakość tych produktów, szczególnie pod względem zanieczyszczenia metalami ciężkimi. Z tego powodu WHO zaleca, aby nie stosować ziół i produktów ziołowych bez jakościowej i ilościowej analizy zawartości metali ciężkich (Solimene i in. 2007).

Termin metale ciężkie odnosi się do metali o gęstości atomowej większej niż 6 g/cm^3 . Są to pierwiastki, które naturalnie występują w środowisku. Niektóre metale ciężkie pełnią ważne role w prawidłowym funkcjonowaniu organizmu człowieka, jednak w dużych ilościach mogą wykazywać właściwości toksyczne. Do takich metali należą przede wszystkim: Zn, Cu, Fe, Mn i Cr (Satarug i in.

2013). Do najczęstszych metali ciężkich, które mają silne działanie toksyczne u ludzi należą: arsen, ołów, kadm i rtęć, chociaż nikiel i chrom również mogą powodować niepożądane i niebezpieczne skutki zdrowotne. Toksyczność metali ciężkich zależy przede wszystkim od stopnia zanieczyszczenia, ale także od gatunku i wieku danego organizmu, sposobu, w jaki zostały wprowadzone do organizmu, ich formy chemicznej, rodzaju interakcji z innymi metalami oraz fizjologii organizmu człowieka. Układ pokarmowy i oddechowy są głównymi sposobami przenikania metali do organizmu. Bioakumulacja metali w żywym organizmie odbywa się poprzez układ krążenia, a następnie zatrzymywanie i gromadzenie się w organelach komórkowych, głównie w jądrze, mitochondriach i w błonie komórkowej. Dlatego systematyczna ekspozycja na metale ciężkie ma negatywny wpływ na parametry morfologiczne krwi, aktywność enzymów, aktywność transportu białek oraz strukturę i funkcję komórek, tkanek i narządów (Żukiewicz-Sobczak i in. 2017).

Biorąc pod uwagę ważną rolę, jaką wybrane pierwiastki odgrywają w organizmie człowieka, a także ich toksyczność, Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) opracowała codzienne normy ich konsumpcji. W przypadku człowieka ważącego 70 kg ich ilości są równe: Cu-1,5 do 4 mg, Ni-25 do 35 g, Fe-10 do 15 mg, Zn-15 mg, Mn 2,5-6 mg (Kozak i in. 2016).

2. Przegląd literatury

2.1 Charakterystyka metali ciężkich

Kadm w bardzo niewielkich ilościach nie wywiera bezpośredniego wpływu na rośliny oraz organizm człowieka. Jednak ostatnio zainteresowanie kadmem wzrosło ze względu na szerokie występowanie w wodzie, glebie, mleku oraz środkach dietetycznych i produktach ziołowych. Kadm można również spotkać w dymie tytoniowym. Zatrucie kadmem powoduje chorobę Itai-itai, która charakteryzuje się osteomalacją. Wystąpienie tej choroby wśród starszych kobiet obszarze rzeki Zinzu w prefekturze Toyama było spowodowane doustnym przyjmowaniem kadmu przez dłuższy okres czasu (Wu i in. 2016). Przewlekłe zatrucie kadmem charakteryzuje się białkomoczem, zaburzeniami czynności nerek i rozedmą płuc. Biochemicznie zastępuje cynk i powoduje nadciśnienie, anemię i osteoporozę. Kadm gromadzi się w wielu narządach, jednak najwyższe stężenia obserwuje się w korze nerkowej (Satarug i in. 2013).

Arsen najczęściej występuje jako zanieczyszczenie w wielu tradycyjnych lekach. Toksyczność arsenu w wodach gruntowych jest poważnym problemem zdrowia publicznego, szczególnie w Wschodnich Indiach i w Bangladeszu. Trójwartościowy arsen jest bardziej toksyczny dla ssaków niż jego pięciowalentna forma. Wykazuje swoją toksyczność poprzez inaktywację ponad 200 enzymów, szczególnie tych, które biorą udział w szlakach energii komórkowej, syntezie i naprawie DNA. Zatrucie arsenem objawia się nudnościami, wymiotami, bólem brzucha, ciężką biegunką, encefalopatią oraz neuropatią obwodową. Toksyczne działanie arsenu dotyka wszystkie układy i narządy, może powodować rakotwórczość (Bhattacharya i in. 2014).

Ostra lub przewlekła ekspozycja na rtęć może powodować działania niepożądane we wszystkich okresach rozwoju człowieka. Rtęć jest wysoce toksycznym pierwiastkiem, nie jest znany dokładny bezpieczny poziom narażenia. Rtęć występuje w różnych postaciach chemicznych: elementarnej (lub metalicznej), nieorganicznej i organicznej (metylortęć i etylotlenek). Zdrowy człowiek nie posiada w swoim organizmie rtęci. Narażenie na rtęć może powodować ostre i przewlekłe zatrucie przy niskim poziomie narażenia. Rtęć jest neuro-, nefro- i immunotoksyczna. Może przenikać przez barierę łożyskową, przez co zagraża rozwojowi płodu. Narażenie na rtęć w populacji ludzkiej wynika głównie ze spożycia ryb. Poziom rtęci przekraczający dopuszczalne granice wiąże się z niepłodnością i hamowaniem endogennych enzymów przeciwutleniających. W środowiskach wodnych rtęć nieorganiczna jest mikrobiologicznie przekształcana w lipofilowy związek organiczny „metylortęć”. Ta transformacja czyni rtęć bardziej podatną na biomagnifikację w łańcuchach pokarmowych. W związku z tym populacje o tradycyjnie wysokim spożyciu żywności pochodzącej ze świeżego lub morskiego środowiska mają najwyższą ekspozycję dietetyczną na rtęć (Bose-O'Reilly i in. 2010).

W wyniku przyspieszonego zużycia produktów zawierających nikiel, związki niklu uwalniane są do środowiska na wszystkich etapach produkcji i wykorzystania. Ich gromadzenie się w środowisku może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi. Toksyczny nikiel powoduje zwłóknienie płuc, różne stopnie zatrucia nerek i układu sercowo-naczyniowego. Nikiel powoduje alergiczne zapalenie skóry, które zwykle występuje na wilgotnej skórze. Jest czynnikiem rakotwórczym oraz niekorzystnie wpływa na płuca i jamy nosowe. Nikiel jest niezbędny w niewielkich ilościach dla organizmu, ponieważ występuje głównie w trzustce, a zatem odgrywa ważną rolę w produkcji insuliny. Jego niedobór powoduje zaburzenie czynności wątroby (Zambelli i in. 2016).

Ołów jest najczęściej występującym i stabilnym metalem ciężkim w przyrodzie. Jest bardzo niebezpieczny dla roślin, zwierząt i mikroorganizmów. Źródłami ołowiu są nawozy, paliwo oraz ścieki. Do organizmu człowieka dostaje się poprzez skórę, oddychanie oraz układ pokarmowy. Zatrucie ołowiem objawia się kolką, charakterystyczna jest niedokrwistość oraz przewlekłe zapalenie nerek. Pojawiają się także drgawki, ból głowy. Wysokie stężenie ołowiu w organizmie może prowadzić do uszkodzenia mózgu oraz zaburzeń ośrodkowego układu nerwowego (Moghaddam i in. 2020).

Chrom jest niezbędny w metabolizmie węglowodanów. Bierze udział w biosyntezie białek, cholesterolu oraz w regulacji stężenia glukozy we krwi. Funkcja chromu jest bezpośrednio związana z funkcją insuliny. Chrom, jeden z najczęstszych pierwiastków w skorupie ziemskiej i wodzie morskiej, występuje w środowisku w kilku stanach utlenienia, głównie jako metaliczny, trójwartościowy (+3) i sześciwartościowy (+6) chrom. Ten ostatni jest w dużej mierze syntetyzowany przez utlenianie bardziej powszechnego i naturalnie występującego trójwartościowego chromu i jest wysoce toksyczny. Trójwartościowy chrom, występujący w większości pokarmów i suplementów diety, jest niezbędnym składnikiem odżywczym o bardzo niskiej toksyczności. Toksycznymi skutkami przyjmowania chromu są: wysypka skórna, podrażnienie nosa, krwawienie, problemy ze strony układu pokarmowego, uszkodzenie nerek, wątroby oraz rak płuca (Singh i in. 2013).

2.2 Zawartość metali ciężkich w roślinach zielonych

Obecność metali ciężkich (Pb i Cd) odnotowano w różnych produktach zielonych w Iranie; stężenia metali wahały się od 0,19 do 1,75 $\mu\text{g/g}$ dla Cd i od 9,61 do 52,74 $\mu\text{g/g}$ dla Pb. Większość próbek miała zawartość metalu wyższą niż maksymalna dopuszczalna dzienna wartość (Mousavi i in. 2015).

Zbadano poziomy stężenie niektórych pierwiastków, w tym makroelementów (N, P, K, Ca i Mg), mikroelementów (Fe, Zn, Cu, Mn i Na) oraz metali ciężkich (Cd, Ni i Pb) w najpopularniejszych ziołach dostępnych w Iranie. Próbki 30 różnych gatunków roślin zostały zakupione na lokalnych rynkach. Potencjalne ryzyko zdrowotne obliczono na podstawie szacowanego dziennego spożycia (EDI), docelowego ilorazu zagrożenia (THQ) i wskaźnika zagrożenia (HI). Najwyższe poziomy Ca ($20\,000 \pm 26,3$ mg/kg), Mg ($9600 \pm 45,4$ mg/kg), N ($59,955 \pm 11,55$ mg/kg), P (6544 ± 20 mg/kg) i K ($56\,563,2 \pm 18$ mg/kg) stwierdzono odpowiednio w *Zataria multiflora*, *Malva sylvestris*, *Acacia arbus*, *Cannabis sativa* i *Amomum subulatum*. Ponadto najwyższe poziomy stężenia Fe ($987 \pm 75,27$ mg/kg), Zn ($1187,5 \pm 10$ mg/kg), Cu ($64,2 \pm 2$ mg/kg), Mn ($272,3 \pm 66,62$ mg/kg) i Na ($2658 \pm 20,3$ mg/kg) odnotowano odpowiednio w *Bunium persicum*, *Peganum harmala*, *Papaver somniferum*, *Alpinia officinalis* i *Cuminum cyminum*. *Acacia arbus*, *Anethum graveolens* i *Malva sylvestris* wykazały najwyższe stężenie Ni ($6,07 \pm 0,04$ mg/kg), Cd ($1,64 \pm 0,16$ mg/kg) i Pb ($9,27 \pm 0,25$ mg/kg). Na podstawie przeprowadzonej oceny ryzyka zdrowotnego badanych roślin wartości EDI, THQ i HI wszystkich z nich były mniejsze niż 1 (Moghaddam i in. 2020).

Niekorzystne warunki w trakcie wzrostu rośliny mają wpływ na produkcję metabolitów wtórnych w roślinach. Celem badania Zoufan i in. (2017) była ocena wpływu akumulacji metali ciężkich na potencjał przeciwbakteryjny *Chenopodium murale* L., *Senecio glaucus* L., *Malva parviflora* L. i *Calendula arvensis* L. uprawianych na przemysłowym obszarze Iranu. Wartości kadmu (Cd), żelaza (Fe), manganu (Mn), niklu (Ni), ołowiu (Pb) i cynku (Zn) analizowano w różnych

częściach tych ziół leczniczych. Działanie przeciwbakteryjne ekstraktów metanolu i etanolu z roślin badano standardową metodą dyfuzji krążków przeciwko *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli* i *Pseudomonas aeruginosa*. Wysokie stężenie Cd stwierdzono w korzeniach *M. parviflora* i *S. glaucus*. Stężenie innych metali w tych roślinach mieściło się w dozwolonych granicach. Zarówno ekstrakty etanolowe, jak i metanolowe wykazywały najwyższe działanie przeciwbakteryjne przeciwko *E. coli* i *P. aeruginosa*. Wywnioskowano, że aktywność przeciwbakteryjna badanych roślin nie jest skorelowana ze stężeniem metali ciężkich.

Toksyczne zanieczyszczenie metalami ciężkimi w chińskiej roślinie *Epimedium folium* wzbudziło niepokój na całym świecie. Zbadano części kilku gatunków rośliny (liście, korzenie, łodygi) w celu określenia poziomu zanieczyszczenia ołowiem, miedzią, kadmem arsenem oraz rtęcią. We wszystkich próbkach *Epimedium* Hg (rtęć) nie była wykrywalna (0,00 µg/g). Cztery gatunki, *Epimedium pubescens*, *Epimedium sagittatum*, *Epimedium brevicornu* i *Epimedium wushanense*, zawierały Cu (miedź) i Pb (ołów). Zawartość Cu i Pb w *E. brevicornu* była znacznie wyższa niż u innych gatunków ($P < 0,01$). W roślinach dziko rosnących i uprawianych, Cd (kadm) i As (arsen) nie były wykrywalne, a stężenia Cu i Pb w dziko rosnących roślinach były znacznie wyższe niż w roślinach uprawnych ($P < 0,01$) (Yang i in. 2018).

Badano również zawartość metali ciężkich w *A. membranaceus*. Obecność Cu, As, Cd, Pb i Hg została dokładnie przeanalizowana za pomocą opracowanej spektrometrii mas plazmowo sprzężonej indukcyjnie (ICP-MS). Badania wykazały, że zawartość metali ciężkich *A. membranaceus* nie mieściła się w żadnym bezpiecznym zakresie, poziomy te były wyższe niż dopuszczalne dzienne spożycie (Yao i in. 2019).

Herbata (*Camellia sinensis* L.) jest najpopularniejszym napojem na świecie po wodzie. Ze względu na kwasofilny charakter rośliny herbacianej, ma ona nieodłączną tendencję do wychwytywania metali/metaloidów, w tym toksycznych z gleby, co jest dużym problemem na całym świecie (Barman i in. 2019). W badaniu Barman i in. (2019) poziom chromu (Cr) i arsenu (As) oceniono w czterystu dziewięćdziesięciu siedmiu (497) próbkach czarnej herbaty zebranych z sześciu regionów uprawy herbaty w Assam i Bengalu Północnym w Indiach. Średnie stężenie Cr i As w badanych próbkach czarnej herbaty wyniosło odpowiednio 10,33 i 0,11 µg/g. Badanie to sugeruje, że spożycie Cr i As po spożyciu pięciu filiżanek herbaty odpowiadających 10 g czarnej herbaty nie stanowiłoby żadnego zagrożenia dla zdrowia.

Analiza metali ciężkich, w 12 próbkach przypraw oraz ziół, przeprowadzona przez El-Rahman i in. (2019) wykazała, że poziomy metali ciężkich w badanych próbkach były wyższe niż maksymalne dopuszczalne limity zalecane przez FAO/WHO. Przyprawy i zioła zawierały najwięcej glinu (od 137,1 do 900,8 ppm). Stwierdzono również wysokie stężenie ołowiu (od 2,3 ppm w kminku do 13,9 ppm) w mieszankach przypraw. Stężenie arsenu wynosiło od 0,1 ppm do 4,8 ppm, przy czym najwyższe stężenie wykazano w mieszankach przypraw (4,8 ppm). Stężenie kadmu wahało się od 0,01 ppm w pieprzu cayenne do 0,10 ppm w kminku, natomiast poziom chromu wahał się między 1,0 ppm w zielonym kardamonie a 11,6 ppm w kolendrze. Nie stwierdzono obecności niklu w badanych próbkach.

Dziesięć próbek roślin przeciwcukrzycowych: liście papai (*Carica papaya*), liście przepękli ogórkowatej (*Momordica charantia*), liście bazylii azjatyckiej (*Ocimum sanctum*), liście *Vernonia amygdalina*, kłącze imbiru (*Zingiber officinale*), czosnek (*Allium sativum*), owoce afrykańskiej czerwonej papryki (*Capsicum frutescens*), ziarna pieprzu (*Xylopiya aethiopicum*), liście nerkowca (*Anacardium occidentale*) i cebuli zwyczajnej (*Allium cepa*) oceniono na obecność metali ciężkich (manganu, miedzi, niklu, chromu, cynku, kadmu i ołowiu). W tym celu przygotowano dwie mikstury. Pierwsza składała się z miodu i wszystkich roślin, z wyjątkiem *Momordica charantia* i *Ocimum sanctum*, które stanowiły miksturę II z dodatkiem wody. Poziomy chromu i niklu były poniżej granic wykrywalności w miksturze I, podczas gdy mangan [(0,11±0,01) µg/g] i cynk [(0,09±0,01) µg/g] wykryto w miksturze II. Miód zawierał mangan [(0,10±0,01) µg/g] i nikiel [(0,70±0,01) µg/g]. Zaobserwowano, że przeciwcukrzycowe zioła lecznicze i mikstury (I i II) zawierają metale ciężkie poniżej dopuszczalnego spożycia (Olujimi i in. 2017).

Badanie Thabit i in. (2020) miało na celu monitorowanie poziomu metali ciężkich w niektórych powszechnie stosowanych ziołach, takich jak anyż, rumianek, koniczyna, kminek,

kolendra, koper włoski, róża, rozmaryn, szalwia i tymianek. Zmierzono poziomy łącznie 12 pierwiastków: Al, As, Cd, Hg, Co, Cr, Ni, Pb, Sr, Th, U i V. Próbkę trawiono fermentatorem za pomocą mikrofal i przeprowadzono pomiary przy użyciu ICP-MS/MS. Nie wykryto obecności toru i rtęci w badanych próbkach. Uran wykryto w niektórych próbkach anyżu, rozmarynu, szalwii i tymianku (od 0,018 do 0,048 mg/kg). Arsen występował w anyżu, koprze włoskim i rozmarynie (od 0,031 do 5,88 mg/kg). Al, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Sr i V wykryto w większości próbek wszystkich ziół i mieściły się odpowiednio w zakresie od 3,88-17,80; 0,122-0,654; 0,019-0,851; 0,344-2,91; 1,872-5,82; 0,120-12,56; 0,128-0,844 i 0,083-0,912 mg/kg.

Dwadzieścia jeden próbek lipy, rumianku i szalwii uzyskanych w okresie wiosennym i letnim 2016 r. z lokalnych rynków i tradycyjnych bazarów w Stambule w Turcji zbadano pod kątem określenia poziomów ołowiu i cynku. Poziom ołowiu mieścił się w maksymalnym dopuszczalnym poziomie, natomiast stwierdzono zbyt wysokie stężenia kadmu w badanych próbkach. Poziom kadmu w rumianku wynosił 0,365–0,51 mg/kg, w szalwii 0,321–0,474 mg/kg oraz w lipie 0,324-0,524 mg/kg (Özden i in. 2018).

3. Podsumowanie

Podsumowując, wyniki tego przeglądu wskazują na potencjalne zagrożenie metalami ciężkimi dla zdrowia konsumentów, związane z długotrwałym stosowaniem roślin ziołowych. W większości badanych próbek dopuszczalne poziomy metali ciężkich zostały przekroczone. Najczęściej występującymi metalami ciężkimi był kadm i ołów. Warto podkreślić znaczenie praktyk oraz środków bezpieczeństwa i higieny, poczynając od obszaru zbioru ziół, aż do momentu, gdy dotrą do konsumenta. Konieczne są dalsze badania w celu ustalenia obecności toksycznych metali i oceny ich długoterminowego skumulowanego ryzyka dla zdrowia konsumentów.

4. Literatura

- Barman T, Barooah AK, Goswami BC et al. (2019) Contents of Chromium and Arsenic in Tea (*Camellia sinensis* L.): Extent of Transfer into Tea Infusion and Health Consequence. *Biological Trace Element Research* 1-12.
- Bhattacharya S, Das SK, Haldar PK (2014) Arsenic induced myocardial toxicity in rats: alleviative effect of *Trichosanthes dioica* fruit. *Journal Of Dietary Supplements* 11(3): 248-261.
- Bose-O'Reilly S, McCarty KM, Steckling N et al. (2010) Mercury exposure and children's health. *Current Problems In Pediatric And Adolescent Health Care* 40(8): 186-215.
- El-Rahman A (2019) Microbiological Quality and Heavy Metals Content of some Spices and Herbs Kinds. *Journal of Food and Dairy Sciences* 10(7): 237-241.
- Kozak M, Sobczak P, Żukiewicz-Sobczak W (2016) Health properties of selected herbal plants. *Health Problems of Civilization* 10(2): 64 -70.
- Moghaddam M, Mehdizadeh L, Sharifi Z (2020) Macro- and microelement content and health risk assessment of heavy metals in various herbs of Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 1-12.
- Mousavi Z, Ziarati P, Esmaeli Dehaghi M et al. (2014) Heavy metals (lead and cadmium) in some medicinal herbal products in Iranian market. *Iranian Journal of Toxicology* 8(24): 1004–1010.
- Olujimi OO, Onifade ON, Towolawi AT et al. (2017) Phyto-metals screening of selected anti-diabetic herbs and infused concoctions. *Asian Pacific Journal Of Tropical Biomedicine* 7(10): 909-914.
- Özden H, Özden S (2018) Levels of Heavy Metals and Ochratoxin A in Medicinal Plants Commercialized in Turkey. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences* 15(3).
- Satarug S, Swaddiwudhipong W, Ruangyuttikarn W et al. (2013) Modeling cadmium exposures in low-and high-exposure areas in Thailand. *Environmental Health Perspectives* 121: 431–462.
- Singh HP, Mahajan P, Kaur S et al. (2013) Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters* 11(3): 229-254.
- Solimene U, Alkofahi A, Allemann C et al. (2007) WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues.

- Thabit TM, Elgeddawy DI, Shokr SA (2020) Determination of some common heavy metals and radionuclides in some medicinal herbs using ICP-MS/MS. *Journal of AOAC International*. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa037>
- Wu H, Liao Q, Chillrud SN et al. (2016) Environmental exposure to cadmium: health risk assessment and its associations with hypertension and impaired kidney function. *Scientific Reports* 6(1): 1-9.
- Yang XH, Zhang HF, Niu LL et al. (2018) Contents of Heavy Metals in Chinese Edible Herbs: Evidence from a Case Study of *Epimedii Folium*. *Biological Trace Element Research* 182(1): 159-168.
- Yao JJ, Kong DD, Luo JY et al. (2019) Safety evaluation of heavy metals contaminated *Astragalus membranaceus* using health risk assessment model. *China Journal Of Chinese Materia Medica* 44(14): 3094-3099.
- Zambelli B, Uversky VN, Ciurli S (2016) Nickel impact on human health: An intrinsic disorder perspective. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics* 1864(12): 1714-1731.
- Zhao Q, Wang Y, Cao Y et al. (2014) Potential health risks of heavy metals in cultivated topsoil and grain, including correlations with human primary liver, lung and gastric cancer, in Anhui province, Eastern China. *Science of Total Environment* 470: 340–347
- Zoufan P, Jalali R, Karimafshar A et al. (2017) Assessment of heavy metal accumulation and antibacterial activity of some medicinal herbs grown in an industrial area of steel production, Ahvaz. *Iranian Journal of Pharmaceutical Sciences* 13(1): 73-86.
- Żukiewicz-Sobczak W, Sobczak P, Rogóż A et al. (2017) Evaluation of the Content of Selected Elements in Herbs Cultivated in Organic Farms in the Lublin Region. Conference: IX International Scientific Symposium "Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture"

19. Charakterystyka i właściwości prozdrowotne roślin strączkowych

Characteristics and health properties of legumes

Karolina Nowosad

Katedra Analizy i Oceny Jakości Żywności, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Opiekun naukowy: dr hab. Monika Sujka, prof. uczelni

Karolina Nowosad: karo.nowosad@gmail.com

Słowa kluczowe: strączki, cukrzyca typu 2, cholesterol

Streszczenie

Rośliny strączkowe są jednymi z głównych pokarmów w diecie ludzi od zarania wieków. W dzisiejszych czasach obserwuje się malejące spożycie nasion roślin strączkowych na rzecz produktów mięsnych i żywności przetworzonej. Powodem mniejszego zainteresowania są głównie problemy ze strony układu pokarmowego, które występują po zjedzeniu posiłku zawierającego rośliny strączkowe. Jednak istnieje wiele korzyści spożywania tych roślin. Są one bowiem źródłem białka, które jest ważnym składnikiem odżywczym, pełniącym rolę m.in. budulcową. Posiadają duże ilości błonnika, obniżają poziom glukozy oraz lipoprotein o niskiej gęstości (LDL). Bogate są w wiele składników mineralnych (żelazo, magnez, fosfor), witaminy (z grupy B) oraz związki bioaktywne (przeciwutleniające). Rośliny strączkowe to nie tylko bogate źródło białka, ale także biologicznie aktywnych peptydów. Peptydy bioaktywne obniżają ciśnienie krwi, wykazują działanie przeciwutleniające, przeciwbakteryjne czy opioidowe. Powstają one na drodze hydrolizy enzymatycznej białek. Hydroliza ta jest wykorzystywana w produkcji suplementów diety oraz nutraceutyków, które mają pozytywny wpływ na organizm człowieka.

1. Wstęp

Rośliny strączkowe należą do rodziny *Fabaceae*, której nasiona stanowią jeden z podstawowych filarów żywienia ludzi oraz zwierząt. Rośliny strączkowe, ze względu na wysoką wartość odżywczą, przynoszą wiele korzyści zdrowotnych. Są bezpieczne do spożycia, niedrogie oraz łatwo dostępne. Z tych względów obecne są w diecie milionów osób na całym świecie (Clemente i Olias 2017). Głównie stanowią podstawę diety w krajach ubogich, gdzie mięso, produkty mleczne, ryby są ekonomicznie niedostępne. Z tego względu uprawa roślin strączkowych przyczynia się do zmniejszenia niedożywienia z krajach ubogich. Produkcja roślin strączkowych jest nadal niższa niż w przypadku innych podstawowych produktów, takich jak zboża i warzywa, dlatego konieczne jest podnoszenie świadomości na temat ich korzyści i zachęcanie do zwiększenia produkcji tych upraw (Martin – Cabrejas 2019).

Konsumpcja roślin strączkowych została zmniejszona przez wzrost spożycia mięsa i produktów pochodzenia zwierzęcego, co szczególnie widoczne jest w krajach rozwiniętych. Jednak w ostatnich latach obserwuje się wzrost spożycia roślin strączkowych, który może być spowodowany popularnością diet roślinnych i zwiększoną świadomością konsumentów na temat wpływu żywności na zdrowie (Vasileška i Rechkoska 2012).

Rośliny strączkowe charakteryzują się wysoką zawartością białka, węglowodanów złożonych oraz niską zawartością lipidów. Rośliny te bogate są również w błonnik oraz składniki mineralne np. Fe, Zn i Ca. Ponadto są źródłem wielu związków bioaktywnych, które przyczyniają się do zapobiegania chorobom przewlekłym (Martin – Cabrejas 2019). Badania naukowe pokazują, że spożywanie roślin strączkowych wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem chorób sercowo – naczyniowych (CVD), cukrzycy oraz niektórych nowotworów, w tym szczególnie raka jelita grubego (Bazzano i in. 2011; Clemente i Olias 2017).

Uprawa roślin strączkowych jest niezbędna dla zrównoważonego rolnictwa i wpływa na ochronę środowiska. Rośliny strączkowe łatwo przystosowują się do zmian klimatu, dlatego też mogą być uprawiane w klimatach suchych z ograniczonymi lub zmiennymi opadami deszczu. Dodatkowo,

rośliny strączkowe mają zdolność wiązania biologicznego azotu z glebą, przez co przyczyniają się do zwiększenia żyzności gleby i umożliwiają zmniejszone użycie agrochemikaliów oraz nawozów, co ma bezpośredni wpływ na zmniejszenie ilości gazów cieplarnianych i ochronę środowiska (Schultze-Kraft i in. 2018).

2. Przegląd literatury

2.1 Skład chemiczny roślin strączkowych

Najczęściej spożywanymi odmianami roślin strączkowych są: ciecierzycza (*Cicer arietinum*); groszek (groch polny lub gładki i groszek pomarszczony); bób (*Vicia faba* lub fasola polna); soczewica (*Lens esculenta*) i fasola (*Phaseolus vulgaris*, *Phaseolus lunatus*, *Phaseolus aureus* i *Phaseolus mungo*) (Afshin i in. 2014).

Rośliny strączkowe są bogatym źródłem białek, tłuszczów, węglowodanów, składników mineralnych, przeciwutleniaczy, błonnika oraz witamin: β -karotenu (prowitaminy A), tiaminy (B1), ryboflawiny (B2), niacyny, pirydoksyny (B6), kwasu pantotenowego, kwasu foliowego (folacyny), kwasu askorbinowego oraz witaminy E i K (Tab.1).

Tab. 1. Skład chemiczny i wartość energetyczna nasion roślin strączkowych.

Gatunek	Zawartość makroskładników na 100g (g)				Wartość energetyczna na 100 g (kcal)
	Białko	Tłuszcze	Węglowodany	Włókno	
Bób	26,12	58,29	1,53	25,02	341
Fasola Mung	23,86	62,62	1,15	16,30	347
Groszek zielony	5,42	15,45	0,40	5,70	81
Soja	12,95	11,05	6,80	4,20	147
Soczewica	24,63	63,35	1,06	10,70	352
Łubin	36,17	40,37	9,74	18,90	371

Źródło: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/query=legumes> [Dostęp z dnia: 18.05.2020 r.]

Większa część białka występuje w bobie w postaci globulin, następnie glutelin i w mniejszych ilościach jako albuminy i prolaminy. Głównymi białkami zapasowymi są globuliny, które podczas dojrzwania i w okresie hydrolizy zapewniają dwutlenku węgla oraz amoniaku dla rosnących siewek. Występują one w błonach organelli komórkowych. Znane są dwa rodzaje globulin – legumina i wicylina. Globuliny to około 69-78% całkowitego białka zawartego w nasionach. Są bogate w kwas asparaginowy oraz kwas glutaminowy, argininę oraz leucynę. Albuminy pełnią funkcję enzymatyczną podczas etapu kiełkowania nasion. Są one bogatsze w cysteinę oraz metioninę niż globuliny. Prolaminy są to związki zawierające głównie polipeptydy. W prolaminach zawarte są niewielkie ilości lizyny i tryptofanu oraz duża zawartość leucyny, kwasu glutaminowego oraz proliny. Gluteiny rozpuszczają się w wodorotlenku sodu. Mają bardzo podobny skład aminokwasowy jak prolaminy, zawierają nieznacznie więcej glicyny, histydyny oraz metioniny (Jasińska i Kotecki 2003).

Zawartość tłuszczu jest niewielka i wynosi 0,5% - 2%. Wśród kwasów tłuszczowych dominuje kwas oleinowy oraz linolowy. Większość roślin strączkowych gromadzi węglowodany w formie skrobi. W okrywie nasiennej występuje włókno, które zbudowane jest z celulozy, a także z lignin, jego zawartość wynosi ok. 3-8%. W skład nasion roślin strączkowych wchodzi także popiół (3,5-6,5%). Wśród pierwiastków chemicznych dominujący jest potas, fosfor, występuje także mała zawartość magnezu i wapnia. Obecne są też mikrośladniki takie jak: mangan, miedź, molibden, cynk oraz żelazo. Skład ten może się różnić w zależności od odmiany, lokalizacji wzrostu, klimatu, czynników środowiskowych i rodzaju gleby, w której uprawiane są rośliny strączkowe (Fabbri i in. 2016).

Substancje biologicznie aktywne, występujące w roślinach strączkowych, wykazują wiele właściwości prozdrowotnych. Jednak niektóre z nich wykazują także aktywność antyodżywczą. Do substancji antyżywniowych zaliczamy oligosacharydy, które charakteryzują się nadmierną gazotwórczością, a także inhibitory enzymów np. trypsyny i chymotrypsyny (Czarnecka i in. 2007).

Do substancji antyżywniowych zaliczają się także taniny, lektyny, alkaloidy. Zmniejszają one strawność nasion powodując występowanie stanów patologicznych. Jednak poprzez gotowanie i moczenie nasion można zmniejszyć ich ilość lub całkowicie je wyeliminować (Jasińska i Kotecki 2003).

W roślinach strączkowych, głównie w bobie (*Vicia Fabia*) występuje L-DOPA, która jest znanym lekiem przeciwko chorobie Parkinsona. Syntetyczna lewodopa może powodować szkodliwe skutki uboczne, natomiast kielki nasion bobu są naturalnym źródłem tego związku i dodatkowo nie powodują skutków ubocznych, które mogą mieć negatywny wpływ na organizm człowieka. Lewodopa powstaje z tyrozyny, jest przekształcana do dopaminy (Lal i in. 2017).

Saponiny to związki mające zdolność do tworzenia stabilnej piany w wodnych roztworach. Składają się z aglikonu i cukru – sacharozy. Powodują zmniejszenie ryzyka chorób sercowo-naczyniowych (dzięki poprawie lipidogramu) oraz cukrzycy (regulując metabolizm węglowodanów). Obniżają poziom złego cholesterolu poprzez tworzenie z nim kompleksu, który jest nierozpuszczalny, dzięki czemu cholesterol nie jest wchłaniany przez jelita. Wykazują działanie przeciwnowotworowe. Obok właściwości zdrowotnych wykazują także funkcje antyodżywcze. Powodują obniżenie aktywności enzymatycznej enzymów oddechowych i trawiennych. Przy wysokich stężeniach nadają gorzki smak oraz mają właściwości ściągające (Muzquiz i in. 2012).

Lektyny to grupa związków, która jest szeroko rozpowszechniona u roślin strączkowych. Występują w formie białek lub glikoprotein oraz wykazują silną aktywność biologiczną. Mają zdolność do przechodzenia do obiegu krwi w stanie nienaruszonym (niestrawione). Niektóre z tych związków wykazują właściwości przeciwnowotworowe, wpływają pozytywnie na odporność. Wiążą się odwracalnie z węglowodanami oraz glikoproteinami na powierzchni komórek jelita, co powoduje zahamowanie rozpadu i zmniejszenie wchłaniania substancji odżywczych (Lagarda-Diaz i in. 2017).

Kwas fitynowy to heksafosforan inozytolu, główna forma magazynowania fosforu w tkankach pochodzenia roślinnego. Powstaje w czasie dojrzewania nasion. Ma szkodliwy wpływ na absorpcję minerałów takich jak cynk, żelazo, magnez, miedź, wapń, mangan. Tworzy kompleksy z białkami, przez co negatywnie wpływa na proteolizę. Wpływa również na poziom glukozy we krwi, ponieważ tworzy nierozpuszczalne kompleksy z węglowodanami, zmniejszając stężenie glukozy w organizmie człowieka (Kumar i in. 2010). Kwas fitynowy posiada również pozytywne funkcje takie jak: obniżenie poziomu biodostępności metali ciężkich (kadm oraz ołów) oraz wykazuje działanie przeciwutleniające chelatując żelazo oraz miedź (Campos-Vega i in. 2010).

W roślinach strączkowych, w szczególności w bobie, występuje jeszcze kilka związków antyodżywczych, które mają negatywny wpływ na zdrowie człowieka. Są to glikozydy takie jak wicina i konwicyna, które zawierają toksyczne aglikony – izouramil oraz diwicynę. Niektórzy ludzie posiadają niedobór enzymu – dehydrogenazy-6-fosforanowej. W ich przypadku wicina oraz konwicyna wywołują chorobę, która pochodzi od nazwy łacińskiej bobu - *Vicia faba*, czyli fawizm, tzw. chorobę „fasolową”. Objawia się ona zawrotami głowy, zaburzeniami w funkcjonowaniu układu trawiennego, może prowadzić także do niedokrwistości hemolitycznej. Fawizm występuje najczęściej po konsumpcji surowego lub niedogotowanego bobu. Choroba ta jest bardzo popularna w okolicach Morza Śródziemnego, ponieważ mieszkańcy tych obszarów bardzo często spożywają surowy bób (Lal i in. 2017).

2.2 Właściwości zdrowotne roślin strączkowych

Rośliny strączkowe są kluczowym źródłem różnorodnych związków, które są ważne dla zdrowia ludzkiego. Należą do nich białko, węglowodany o niskim indeksie glikemicznym (IG), błonnik, minerały, witaminy, karotenoidy i polifenole. Badania na Tajwanie z udziałem osób pochodzenia chińskiego wykazały, że śmiertelność z jakiegokolwiek przyczyny wzrosła u osób stosujących dietę pozbawioną roślin strączkowych. Ponadto współczynnik ryzyka śmiertelności spadł o 8% u osób starszych na całym świecie na każde 20 g wzrostu dziennego spożycia roślin strączkowych. Rośliny strączkowe przyczyniają się do zmniejszenia śmiertelności poprzez zmniejszenie ryzyka zachorowania na choroby układu krwionośnego, cukrzycy oraz nowotworów (Foyer i in. 2016).

Metaanaliza jedenastu badań wykazała, że codzienne spożywanie roślin strączkowych przez ponad 4 tygodnie spowodowało znaczne zmniejszenie stężenia glukozy we krwi na czczo oraz insuliny. Rośliny strączkowe są spożywane głównie w ramach diety o niskim indeksie glikemicznym oraz polecane osobom mającym problemy z gospodarką węglowodanową. Wysoki poziom glukozy we krwi, spowodowany głównie spożywaniem żywności przetworzonej i bogatej w cukry proste, jest głównym czynnikiem ryzyka insulinooporności, cukrzycy typu 2, nadciśnienia tętniczego i zespołu metabolicznego. Może również prowadzić do neurodegeneracji i rozwoju choroby Alzheimera (Sievenpiper i in. 2009). W badaniu przeprowadzonym przez Jenkins i współpracowników (2009) wykazano, że dieta bogata w żywność pochodzenia roślinnego, w tym rośliny strączkowe i niska zawartość przetworzonych produktów spożywczych oraz napojów, które są słodzone cukrem, zmniejsza ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2. W przypadku osób z cukrzycą poprawia zarówno glikemię oraz zmniejsza stężenie trójglicerydów, cholesterolu o niskiej gęstości (LDL) oraz cholesterolu całkowitego, natomiast powoduje wzrost cholesterolu o wysokiej gęstości (HDL). Do badania zakwalifikowano 121 osób z cukrzycą typu 2. Połowa z nich została zrandomizowana do diety o niskim IG, kładąc nacisk na spożywanie roślin strączkowych (cel: 1 szklanka/dzień gotowanych roślin strączkowych lub ~ 190 g) lub dietę o wysokim udziale włókna pokarmowego. Po 3 miesiącach 93,3% uczestników ukończyło dietę o niskim indeksie glikemicznym (IG) z dodatkiem roślin strączkowych (średnie spożycie roślin strączkowych wynosiło 211 g/dzień). Podobny odsetek (95,1%) ukończył dietę z dodatkiem błonnika pokarmowego. Średnie stężenie HbA1c spadło o 0,5% ($p < 0,001$) w przypadku diety z niskim IG z dodatkiem roślin strączkowych. Zaobserwowano także znaczny spadek poziomu cholesterolu całkowitego i trójglicerydów, a także spadek skurczowego i rozkurczowego ciśnienia krwi w porównaniu z dietą bogatą w pokarmy z włókna pokarmowego.

Metaanaliza przeprowadzona przez Bazzano i in. (2011) miała na celu zbadanie wpływu konsumpcji nasion roślin strączkowych na poziom lipidów we krwi. Analiza 10 randomizowanych badań klinicznych, których czas trwania wynosił co najmniej 3 tygodnie wykazała, że poziom całkowitego cholesterolu dla osób będących na diecie z dodatkiem roślin strączkowych spadł o 11,8 mg/dl w porównaniu do osób na diecie kontrolnej (bez dodatku roślin strączkowych). Podobną tendencję wykazano w stosunku do stężenia cholesterolu o niskiej gęstości (LDL) – u osób spożywających rośliny strączkowe, poziom LDL spadł o 8,0 mg/dl w porównaniu do diety kontrolnej.

Pomimo dobrze udokumentowanych korzyści zdrowotnych spożywania roślin strączkowych, faktyczne spożycie roślin strączkowych wciąż pozostaje niskie. Według danych NHANES, tylko około 8% dorosłych spożywa suche rośliny strączkowe oraz groch. Może to częściowo wynikać z niezajomości ludzi w zakresie przygotowania oraz włączenia nasion roślin strączkowych do planu żywieniowego (Polak i in. 2015). Dieta, która regularnie obejmuje rośliny strączkowe, może pomóc w kontrolowaniu wagi. Błonnik, białko oraz wolno trawiony węglowodan znajdujące się w roślinach strączkowych mogą pomóc w zachowaniu uczucia sytości na dłużej. W badaniu przeprowadzonym przez Papanikolaou i Fulgoni (2008) zaobserwowano, że dorośli, którzy spożywali różne rośliny strączkowe, mieli znacznie niższą masę ciała w porównaniu z tymi, którzy nie spożywali roślin strączkowych. Konsumentów roślin strączkowych byli również znacznie mniej podatni na otyłość ($BMI > 30 \text{ kg/m}^2$) niż osoby niebędące ich konsumentami. Ponadto dowody potwierdzają korzystny wpływ diety śródziemnomorskiej, która jest bogaty w rośliny strączkowe, błonnik i jednonienasycone kwasy tłuszczowe na zmniejszenia masy ciała.

Istnieje coraz więcej dowodów naukowych na to, że prawidłowe funkcjonowanie jelit wpływa korzystnie na zdrowie człowieka, zmniejszając ryzyko zachorowania na choroby sercowo – naczyniowe, otyłość, cukrzycę oraz nowotwory, szczególnie nowotworu jelita grubego. Rośliny strączkowe wykazują podobne właściwości do prebiotyków, które zmieniają florę bakteryjną jelit. Łubiny słodkie są wyjątkowe wśród roślin strączkowych, ponieważ charakteryzują się jedną z najwyższych łącznych ilości strawnego białka roślinnego (38%) i błonnika pokarmowego (30%). W przeciwieństwie do innych roślin strączkowych, posiadają małą ilość czynników przeciwdrożdżyczych, co eliminuje potrzebę moczenia oraz gotowania. Zastąpienie kilku produktów mięsnych, posiłkami z dodatkiem roślin strączkowych, głównie łubiny słodkiej, korzystnie wpływa na mikrobiom jelitowy, obniża ciśnienie krwi, poprawia lipidy krwi i wrażliwość na insulinę (Kouris-Blazos i Belski 2016).

3. Podsumowanie

Rośliny strączkowe w krajach rozwiniętych odgrywają niewielką rolę żywieniową, natomiast w państwach ubogich stanowią podstawowe źródło białka, zastępując mięso i produkty zwierzęce. Rośliny strączkowe charakteryzują się także niską zawartością tłuszczów nasyconych oraz wysokim poziomem błonnika pokarmowego. Są również bardzo dobrym źródłem składników mineralnych i fitochemikaliów. Biorąc pod uwagę profil składników odżywczych i substancji aktywnych biologicznie, dietetycy powinni podjąć skoordynowany wysiłek, aby zachęcić społeczeństwo do spożywania większej ilości roślin strączkowych. Dieta bogata w nasiona roślin strączkowych może stanowić profilaktykę wielu chorób sercowo – naczyniowych, bowiem rośliny strączkowe wykazują działanie obniżające poziom cholesterolu w krwi. Dodatkowo spożycie roślin strączkowych przyczynia się do kontroli masy ciała oraz poprawy glikemii u osób z cukrzycą typu 2.

4. Literatura

- Afshin A, Micha R, Khatibzadeh S et al. (2014) Consumption of nuts and legumes and risk of incident ischemic heart disease, stroke, and diabetes: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition* 100(1): 278-288.
- Bazzano LA, Thompson AM, Tees MT et al. (2011) Non-soy legume consumption lowers cholesterol levels: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism And Cardiovascular Diseases* 21(2): 94-103.
- Campos-Vega R, Loarca-Pina G, Oomah B (2010) Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International* 43(2): 461-482.
- Clemente A, Olias R (2017) Beneficial effects of legumes in gut health. *Current Opinion in Food Science* 14: 32-36.
- Czarnecka M, Czarnecki Z, Gumienna M (2007) Zmiany zawartości wybranych składników żywności w produktach otrzymanych z nasion roślin strączkowych pod wpływem obróbki biotechnologicznej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość* 6(55): 160.
- Fabbri AD, Crosby GA (2016) A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science* 3: 2-11.
- Foyer CH, Lam HM, Nguyen HT (2016) Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature plants* 2(8): 1-10.
- Jasińska Z, Kotecki A. 2003 Szczegółowa uprawa roślin 2, Wydawnictwo AR, Wrocław.
- Jenkins DJ, Kendall CW, Augustin LS et al. (2012) Effect of legumes as part of a low glycemic index diet on glycemic control and cardiovascular risk factors in type 2 diabetes mellitus: a randomized controlled trial. *Archives of internal medicine*, 172(21):1653-1660.
- Kouris-Blazos A, Belski R 2016 Health benefits of legumes and pulses with a focus on Australian sweet lupins. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition* 25: 1–17.
- Kumar V, Sinha A, Makkar H et al. (2010) Dietary roles of phytate and phytase in human nutrition. *Food Chemistry* 120(4): 945-957.
- Lagarda-Diaz I, Guzman-Partida AM, Vazquez-Moreno L (2017) Legume lectins: proteins with diverse applications. *International Journal Of Molecular Sciences* 18(6): 1242.
- Lal N, Barcchiya J, Raypuriya N et al. (2017) Anti-nutrition in legumes: effect in human health and its elimination. *Innovative Farming* 2(1): 32-36.
- Martín-Cabrejas MA (2019) CHAPTER 1: Legumes: An Overview in Legumes: Nutritional Quality, Processing and Potential Health Benefits: 1-18.
- Muzquiz M, Varela A, Burbano C et al. (2012) Bioactive compounds in legumes: pronutritive and antinutritive action: implications for nutrition and health. *Phytochemistry Reviews* 11: 236-237.
- Papanikolaou Y, Fulgoni VL (2008) Bean consumption is associated with greater nutrient intake, reduced systolic blood pressure, lower body weight, and a smaller waist circumference in adults: results from the National Health and Nutrition Examination Survey 1999-2002. *Journal of the American College of Nutrition* 27(5): 569-576.

- Polak R, Phillips EM, Campbell A (2015) Legumes: Health benefits and culinary approaches to increase intake. *Clinical Diabetes*, 33(4): 198-205.
- Schultze-Kraft R, Rao IM, Peters M (2018) Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales* 6(1): 1-14.
- Sievenpiper JL, Kendall CWC, Esfahani A et al. (2009) Effect of non-oil-seed pulses on glycaemic control: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled experimental trials in people with and without diabetes. *Diabetologia* 59.
- Vasileska A, Rechkoska G (2012) Global and regional food consumption patterns and trends. *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 44: 363-369.

20. Grzyby jako potencjalne źródło naturalnych barwników spożywczych

Fungi as a potential source of natural food colors

Piątek Wiktoria, Sulej Justyna

Katedra Biochemii i Biotechnologii, Instytut Nauk Biologicznych, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.

Wiktoria Piątek: wiktoria.piatek-97@wp.pl

Słowa kluczowe: związki biologicznie aktywne, pigmenty, metabolity wtórne

Streszczenie

Wzrost świadomości konsumentów w kwestii zdrowego odżywiania powoduje, że mają oni coraz większe oczekiwania wobec artykułów spożywczych. Podczas wyboru produktów żywnościowych zwracają uwagę nie tylko na wartość odżywczą, ale także atrakcyjny wygląd towaru. Często czynnikiem wpływającym na decyzję o zakupie produktu jest jego kolor, kojarzony z dobrą jakością, świeżością, a co za tym idzie także bezpieczeństwem. Z tego względu, barwniki syntetyczne powszechnie stosuje się jako dodatek do żywności. Związki te są stabilne i niedrogie, jednak badania pokazują, że mają one szkodliwy wpływ na organizm człowieka. Produkty, które regularnie spożywamy, mogą przyczyniać się do rozwoju wielu poważnych chorób, w tym także nowotworowych, a toksyczność chemicznych pigmentów może być tego przyczyną. Wiele syntetycznych barwników, stosowanych w przemyśle spożywczym, zostało zastąpionych bezpiecznymi zamiennikami naturalnymi, pochodzącymi głównie z roślin, ale także z mikroorganizmów. Grzyby stanowią łatwo dostępne, alternatywne źródło naturalnie pozyskiwanych pigmentów spożywczych, które nie tylko poprawiają atrakcyjność rynkową produktu, ale także wykazują działanie prozdrowotne, takie jak właściwości antybakteryjne, antyoksydacyjne, przeciwnowotworowe czy przeciwzapalne. Związki te można z wysoką wydajnością ekstrahować z grzybów, zarówno w warunkach laboratoryjnych jak i przemysłowych.

1. Wstęp

Kolor od zawsze był niezwykle ważnym elementem w życiu każdego człowieka. Stosowanie pigmentów, jako środków barwiących, praktykowano już w czasach prehistorycznych. Pierwszy syntetyczny kolor, zwany „*mauvine*”, miał fioletową barwę i został opracowany przez Sir Williama Henry'ego Perkina w 1856 roku, a jego odkrycie rozpoczęło rewolucję w historii syntetycznych barwników (Rao i in. 2017). Łatwość produkcji oraz związane z nią niskie koszty, jak również szeroki wybór barw przyczyniły się do rozpowszechnienia syntetycznych pigmentów na rynku. Z czasem jednak stwierdzono, że stosowanie barwnych związków chemicznych jest szkodliwe zarówno dla ludzkiego zdrowia jak i środowiska naturalnego. Wady pigmentów syntetycznych, takie jak trudna degradacja, długi okres trwałości w środowisku czy duże prawdopodobieństwo wywoływania reakcji alergicznych i chorób nowotworowych, przyczyniły się do wzrostu zapotrzebowania na pigmenty pochodzenia naturalnego (Lagashett i in. 2019).

Głównymi źródłami naturalnych barwników są rośliny oraz mikroorganizmy. Stosowanie barwników roślinnych niesie za sobą szereg ograniczeń, takich jak brak dostępności produktu przez cały rok, rozpuszczalność i stabilność pigmentów, jak również utrata cennych gatunków spowodowana eksploatacją roślin na dużą skalę (Rao i in. 2017). Organizmami, które stanowią alternatywne, łatwo dostępne źródło naturalnych pigmentów są grzyby. Prosty i ekonomiczny sposób pozyskiwania barwników w warunkach laboratoryjnych, ich trwałość i intensywność kolorów oraz wzrost niezależny od pogody czynią je doskonałymi zamiennikami szkodliwych, chemicznych substancji barwnych (Lopes i in. 2013; Sajid i Akbar 2018).

2. Opis zagadnienia

Praca ma charakter przeglądowy, a jej celem jest charakterystyka substancji pochodzenia grzybowego, które można zastosować jako naturalne barwniki żywności w przemyśle spożywczym.

3. Przegląd literatury

3.1 Czynniki wpływające na syntezę pigmentów przez grzyby

Produkcja pigmentu przez grzyby uzależniona jest od wielu czynników zewnętrznych, takich jak odpowiednia ilość substancji odżywczych w podłożu, optymalna wartość pH czy temperatura. Należy pamiętać, że dostępność związków organicznych oraz warunki środowiska najlepsze dla wzrostu grzybów, nie zawsze będą optymalne do produkcji przez nie substancji barwnych. Z badań wynika, że to właśnie niedobory substancji odżywczych, graniczne wartości pH, ciemność, mieszanie i napowietrzanie oraz związany z tym stres jest głównym czynnikiem wpływającym na syntezę barwników przez grzyby (Ogbonna 2016).

Węgiel organiczny jest głównym źródłem energii niezbędnej do wzrostu i produkcji metabolitów przez mikroorganizmy heterotroficzne, takie jak grzyby. Związki, które są obfite w ten pierwiastek to głównie cukry, między innymi glukoza, fruktoza, galaktoza, laktoza czy sorboza (Ogbonna 2016). Optymalna ilość węgla jest ściśle określona dla konkretnych gatunków, jednak może różnić się pomiędzy poszczególnymi szczepami (Chintapenta i in. 2014).

Azot jest pierwiastkiem, który w zależności od gatunku grzyba powinien być dostarczony w formie nieorganicznej, bądź organicznej (Chintapenta i in. 2014). Jego źródłem są azotany, niektóre aminokwasy, pepton czy ekstrakt z drożdży. Zauważono, że rodzaj źródła azotu jest silnie skorelowany z wartością pH środowiska. Stężenie jonów wodorowych wpływa na barwę wytwarzanych przez grzyby pigmentów (Ogbonna 2016). Zespół badaczy Chintapenta wykazał, że środowisko kwaśne (pH 3,0) jest optymalne do produkcji czerwonego pigmentu przez szczep *Penicillium* (DLR-7), podczas gdy obniżenie go o jeszcze jedną jednostkę (pH 2,0), zamiast pogłębić odcień czerwony powoduje wytworzenie żółtego pigmentu fluorescencyjnego (Chintapenta i in. 2014).

Czynniki fizykochemiczne takie jak temperatura, stężenie tlenu, wilgotność czy natężenie światła znacząco wpływają na wydajność syntezy barwników przez grzyby. Optymalna temperatura mieści się w zakresie od 24 do 30°C niezależnie od gatunku i szczepu, chociaż istnieją wyjątki takie jak produkcja żółtego barwnika przez *Monascus* sp. w temperaturze wyższej niż 45°C (Ogbonna 2016). Prędkość mieszania i odpowiednie stężenie rozpuszczonego tlenu również oddziałują w istotny sposób na wzrost i produkcję pigmentów. W zależności od gatunku mogą one przyspieszać bądź spowalniać ten proces. W analogiczny sposób wpływa światło, a właściwie ciemność, stymulując lub hamując wytwarzanie barwnych metabolitów (Ogbonna 2016). Produkcja pigmentów przez grzyby na podłożu stałym wymaga także odpowiedniej wilgotności, która waha się od 22 do 60% w zależności od gatunku, a w niektórych przypadkach wynosi nawet 96% (Yongsmith i in. 2013).

3.2 Barwniki produkowane przez grzyby

Królestwo grzybów to różnorodna i unikalna grupa organizmów, która wytwarza wiele ważnych biotechnologicznie metabolitów. Szeroką gamę biobarwników, w tym ryboflawinę, β -karoten, likopen czy monaskorubraminanę syntetyzują grzyby nitkowate, drożdże, ale także mikroorganizmy należące do *Ascomycota* i *Basidiomycota* (Tab. 1).

Drożdże to rodzaj jednokomórkowych grzybów, należących do różnych grup taksonomicznych. Wiele z nich produkuje barwne związki chemiczne, które są wykorzystywane w przemyśle spożywczym. Wśród najbardziej rozpowszechnionych drożdży wytwarzających pigmenty spożywcze możemy wymienić *Xanthophyllomyces dendrorhous*, *Rhodotorula* i *Saccharomyces neoformans* (Dufossé 2006; Lagashetti i in. 2019; Rao i in. 2017).

Gatunki grzybów wykorzystywane do produkcji barwników spożywczych
Pigmenty pozyskane z Monascus spp.

Grzyby z rodzaju *Monascus* mogą produkować wiele metabolitów wtórnych, w tym różnobarwne pigmenty. Zastosowanie barwników pozyskanych z *Monascus* (MFR – Monascus Fermented Rice) do produkcji czerwonego ryżu (ang-kak) jest najstarszym odnotowanym zastosowaniem pigmentów grzybowych przez człowieka (Lagashetti i in. 2019). Do barwników syntetyzowanych przez ten rodzaj grzybów należą żółta monaskina i ankaflawina, pomarańczowa monaskorubryna i rubropunktatyna oraz czerwona monaskorubraminana i rubropunktamina (Rys. 1)

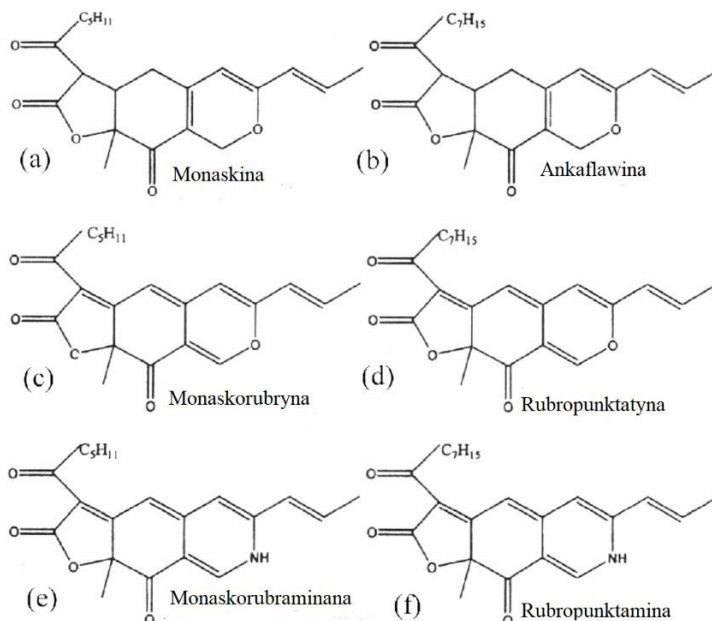
(Lin i in. 2008). Barwniki te, oprócz efektów wizualnych, posiadają także potencjał przeciwnowotworowy w stosunku do różnych typów nowotworów, takich jak rak skóry u myszy, rak krtani u ludzi, gruczolakorak jelita grubego, rak wątrobowokomórkowy HCC i gruczolakorak płuc, jak również wykazują właściwości antybakteryjne wobec bakterii Gram-dodatnich (Lagashetti i in. 2019). Niektóre gatunki *Monascus*, a mianowicie *Monascus ruber* i *Monascus purpureus*, są uważane za jedne z popularniejszych producentów pigmentów na całym świecie. Badania wykazały wysoki potencjał aplikacyjny czerwonego pigmentu wytwarzanego przez *M. ruber*, jako ważnego barwnika spożywczego, coraz częściej dodawanego do żywności (Lagashetti i in. 2019). Według informacji podanych przez światowego lidera handlu internetowego w Korei Południowej, jakim jest firma EC Plaza Network, Inc., w krajach azjatyckich pigment z tego grzyba znajduje swoje zastosowanie jako dodatek do herbaty, czerwonej papryki i pieprzu w proszku, kimchi czy octu.

Tab.1. Naturalne barwniki do żywności, o dużym potencjale biotechnologicznym, pozyskiwane z grzybów (Ogbonna 2016; Lagashetti i in. 2019; Kumar i in. 2015; Dimou i in. 2017; Statham 2006; Ramesh i in. 2019)

Barwny metabolit	Kolor	Producent (gatunek grzyba)	Możliwości wykorzystania
Monaskina i ankaflawina	Żółty	<i>Monascus</i> sp.	Ser tofu, konserwy rybne, gulasz wieprzowy, pieczona kaczka, pieczona wieprzowina, kiełbaski, ryby, keczup, ryż, alkohol (wino, brandy) i słodycze
Monaskorubraminana i rubropunktamina	Czerwony	<i>Monascus</i> sp.	
Monaskorubryna i rubropunktatyna	Pomarańczowy	<i>Monascus</i> sp.	
Antrachinon	Czerwony	<i>Penicillium oxalicum</i>	Żywność dla niemowląt, płatki śniadaniowe, makarony, sosy, ser topiony, napoje owocowe i niektóre napoje energetyczne
Naftochinon	Ciemny czerwony	<i>Cordyceps unilateralis</i>	Produkty spożywcze
Ryboflawina	Żółty	<i>Ashbya gossypi</i>	Produkty spożywcze
Likopen	Czerwony	<i>Blakeslea trispora</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i>	Ryby, i ślimaki, krewetki, homar, kawior, słodycze, w tym lody
β- karoten	Pomarańczowo – żółty	<i>Blakeslea trispora</i> <i>Fusarium sporotrichioides</i> <i>Mucor circin</i> <i>Neurospora crassa</i> <i>Phycomyces blakesleeanus</i>	
Astaksantyna	Różowo-czerwony	<i>Xanthophyllomyces dendrorhous</i>	Ryby i produkty rybne
Barwniki karotenoidowe	Pomarańczowo-czerwony	<i>Rhodotorula</i> sp.	Produkty spożywcze

Pomimo ogromnego potencjału gospodarczego pigmentów z *Monascus*, jak również braku doniesień o toksycznym działaniu produktów spożywczych zawierających te związki, barwniki grzybowe nadal nie zostały dopuszczone do zastosowań komercyjnych w większości regionów na świecie. Wykorzystanie ich w przemyśle spożywczym nie jest zatwierdzone w Unii Europejskiej

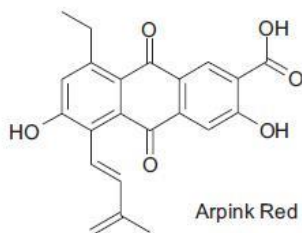
(UE) i Stanach Zjednoczonych Ameryki (USA), głównie ze względu na ryzyko zanieczyszczenia barwników przez nefrotoksyczny i hepatotoksyczny metabolit – cytryninę (Mukherjee i in. 2017).



Rys. 1. Chemiczne struktury barwników pozyskanych z grzyba *Monascus* sp. (Kumar i in. 2015).

Barwniki produkowane przez grzyby z rodzaju *Penicillium*

Grzyby pleśniowe należące do rodzaju *Penicillium* są powszechnie wykorzystywane do produkcji bezpiecznych dla ludzi pigmentów (Mukherjee i in. 2017). Istnieje wiele gatunków pędzlaków, których metabolity stosowane są w przemyśle spożywczym. Popularnym przykładem jest różowoczerwony związek (Arpink Red), będący pierwszym komercyjnym, czerwonym barwnikiem pochodzącym z *Penicillium oxalicum*, wykorzystywanym jako dodatek do lodów, mleka czy mięs (Rys. 2) (Ogbonna i in. 2016; Mukherjee i in. 2017; Lagashetti i in. 2019). Ponadto istnieją inne gatunki *Penicillium*, takie jak *Penicillium aculeatum* i *Penicillium pinophilum*, które wytwarzają pigmenty podobne do barwników pozyskiwanych z *Monascus*, ale nie są zdolne do koprodukcji toksycznej cytryniny, a co za tym idzie są bezpieczne dla zdrowia (Caro i in. 2012). Natomiast *Penicillium herquei* produkuje barwne związki mające podobną strukturę do czerwonych pigmentów pochodzenia roślinnego - szikoniny i alkaniny (Mukherjee i in. 2017).

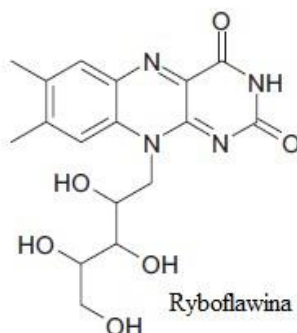


Rys. 2. Struktura chemiczna czerwonego barwnika Arpink Red pozyskanego z *P. oxalicum* (Dufossé 2006).

Naturalne pigmenty występujące u roślin i grzybów

Ryboflawina

Ryboflawina (witamina B2) jest szeroko stosowana jako żółty barwnik spożywczy (Rys. 3). Związek ten jest dopuszczony do użytku w większości krajów na świecie. Istnieje wiele organizmów produkujących tenże metabolit, a wśród nich grzyby takie jak *Eremothecium ashbyii* i *Ashbya gossypii* oraz drożdże *Candida guilliermundii* i *Debaryomyces subglobosus* (Mukherjee i in. 2017; Dufossé 2006). Ryboflawina jest wykorzystywana jako dodatek do sosów, lodów (w tym sorbetów), napojów czy deserów. Witamina B2 ma szczególne powinowactwo do produktów zbożowych, ale jej zastosowanie w tym aspekcie jest nieco ograniczone ze względu na jej charakterystyczny zapach i naturalnie gorzki smak (Kumar i in. 2015).

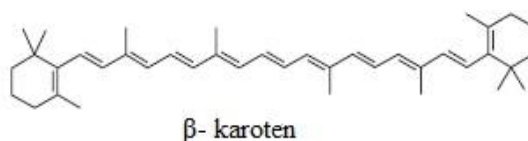


Rys. 3. Struktura chemiczna ryboflawiny (Dufossé 2006).

β-karoten

β-karoten (prowitamina A) jest żółtym pigmentem karotenoidowym, zaliczającym do najważniejszych metabolitów występujących w świecie roślin, ale także produkowanych przez grzyby (Rys. 4). Najwyższy poziom syntezy karotenu odnotowano u *Zygomycota* z rzędu *Mucorales* (*Mucor*, *Phycomyces* i *Blakeslea*), jednak *Basidiomycota* (*Ustilago*, *Sclerotinia*, *Sporidiobolus* i *Rhodospiridium*) czy *Ascomycota* (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Aschersonia* i *Cercospora*) również produkują ten związek (Kirti i in. 2014; Sajid i Akbar 2018). Karotenoidy z niektórych drożdży, takich jak *Rhodotorula* (*R. glutinis*, *R. paludigenum*, *R. minuta*, *R. mucilaginosa*, *R. acheniorum*, *R. babjvae* II-1 i *R. graminis*) czy *X. dendrorhous*, są wykorzystywane w przemyśle spożywczym jako naturalne związki nadające barwę produktom (Singgih i Julianti 2015; Lagashetti i in. 2019). Inne rodzaje czerwonych drożdży, które mają potencjał jako naturalne, alternatywne źródła karotenoidów, to grzyby z rodzaju *Rhodospiridium*, *Sporidiobolus*, *Sporobolomyces* (w tym *S. roseus*, *S. salmonicolor* i *S. patagonicus*), *Cystofilobasidium* i *Kockovaella* (Singgih i Julianti 2015). Obecnie β-karoten wytwarzany przez *Blakeslea trispora* jest wykorzystywany przez dwa sektory przemysłu spożywczego – w Rosji i na Ukrainie oraz w Leone w Hiszpanii (Kumar i in. 2015; Dufossé 2006).

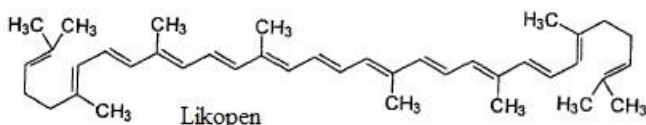
β-karoten wykazuje silne właściwości antyoksydacyjne, ale może być także używany jak „filtr przeciwsłoneczny” w celu utrzymania jakości produktów spożywczych, poprzez ochronę przed intensywnym światłem. Barwniki karotenoidowe, produkowane przez grzyby posiadają silne właściwości przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe (Sen i in. 2019). Dzięki właściwościom prozdrowotnym, mogą być stosowane zarówno jako potencjalny środek przeciwnowotworowy, ze względu na silne działanie antyproliferacyjne, jak i przeciwbakteryjny (Ramesh i in. 2019).



Rys. 4. Struktura chemiczna β-karotenu (Dufossé 2006).

Likopen

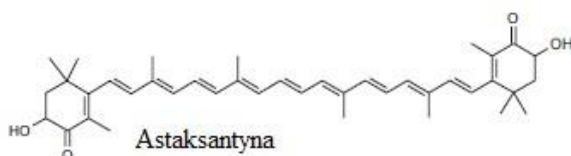
Likopen (psi-karoten) to organiczny związek chemiczny z grupy karotenoidów, należący do naturalnych pigmentów występujących u roślin i grzybów (Rys. 5). W królestwie roślin ten czerwony barwnik najczęściej otrzymywany jest z pomidorów, ale występuje również w arbuzech, owocach dzikiej róży, różowych grejfrutach, gujawach, papajach czy morelach. W królestwie grzybów produkują go takie gatunki jak *B. trispora* i *Fusarium sporotrichioides* (Kirti i in. 2014). Likopen jest wykorzystywany do barwienia słodczy, zup instant, jogurtów, napojów gazowanych oraz produktów żelujących (Statham 2006). Właściwości prozdrowotne likopenu nie zostały do końca zbadane, jednak najprawdopodobniej ma on działania przeciwnowotworowe, zapobiega rozwojowi miażdżycy i chorób sercowo-naczyniowych (Belter i in. 2011).



Rys. 5. Struktura chemiczna likopenu (Kumar i in. 2015).

Astaksantyna

Astaksantyna jest jednym z najczęściej występujących pigmentów w biosferze, należącym do grupy karotenoidów. Ten czerwony barwnik produkowany jest przez kilka gatunków bakterii, alg, małe skorupiaki, ale przede wszystkim grzyby (Rys. 6). Najpopularniejszym producentem naturalnej astaksantyny są drożdże *X. dendrorhous* (wcześniej znany jako *Phaffia rhodozyma*), które mogą być wykorzystane do syntezy tego pigmentu na skalę przemysłową (Dufossé 2006). Prowadzone badania wykazały, że spożywanie astaksantyny wzmacnia odporność, ale także zapobiega rozwojowi chorób sercowo-naczyniowych i spowalnia rozwój zaćmy (Mukherjee i in. 2017). Znajduje ona powszechne zastosowanie jako dodatek do mięsa, ale także jako składnik pasz w przemysłowej hodowli ryb łososiowatych i krewetek, nadając tkankom tych zwierząt charakterystyczne różowoczerwone zabarwienie (Dufossé 2006).



Rys. 6. Struktura chemiczna astaksantyny (Dufossé 2006).

4. Podsumowanie

Pigmenty spożywcze stanowią jedną z najpopularniejszych grup dodatków do żywności. Barwione produkty, ze względu na swój atrakcyjny wygląd są częściej kupowane, co w oczywisty sposób wpływa na rozwój rynku barwników spożywczych. Ze względu na niemal nieograniczoną gamę i intensywność barw, a także trwałość i niskie koszty produkcji wynikające z prostej syntezy, sprawia, że najczęściej stosowane są sztuczne barwniki chemiczne. Badania prowadzone nad toksycznością dodatków spożywczych oraz rosnąca świadomość konsumentów w kwestii zdrowego stylu życia oraz ich ekologiczna postawa sprawia, że coraz częściej zamiast barwników chemicznych stosowane są naturalne związki barwiące, w tym także barwne metabolity grzybowe. Pigmenty grzybowe, powszechnie stosowane w krajach azjatyckich, stanowią doskonały zamiennik szkodliwych, chemicznie syntetyzowanych substancji barwnych, podbijając rynki światowe, także ze względu na silny potencjał prozdrowotny. Intensywny rozwój badań, mających na celu usprawnienie

technologii pozyskiwania biobarwników na skalę przemysłową oraz poszukiwanie nowych organizmów, zdolnych do syntezy naturalnych pigmentów, świadczy o ciągłej potrzebie korzystania z bogactw natury, które mamy w zasięgu ręki.

5. Literatura

- Belter A, Giel-Pietraszuk M, Oziewicz S i in. (2011) Likopen - występowanie, właściwości oraz potencjalne zastosowanie. *Postępy Biochemii* 57(4): 372-380.
- Caro Y, Anamale L, Fouillaud M i in. (2012) Natural hydroxyanthraquinoid pigments as potent food grade colorants: an overview. *Natural Products and Bioprospecting* 2(5): 174-193.
- Chintapenta LK, Rath CC, Maringinti B i in. (2014) Culture conditions for growth and pigment production of a Mangrove *Penicillium* species. *Journal of Multidisciplinary Scientific Research* (2): 1-5.
- Dimou C, Koutelidakis EA, Nasopoulou C i in. (2017) Current trends and emerging technologies in biopigment production processes: Industrial food and health applications. *International Journal of Horticulture, Agriculture and Food Science* 1(2): 33-46.
- Dufossé L (2006) Microbial production of food grade pigments. *Food Technology and Biotechnology* 44(3): 313-323.
- Kirti K, Amita S, Priti S i in. (2014) Colorful world of microbes: carotenoids and their applications. *Advances in Biology* 1-13.
- Kumar A, Vishwakarma HS, Singh J i in. (2015) Microbial pigments: production and their applications in various industries. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical & Biological Sciences* 5(1): 203-212.
- Lagashetti AC, Dufossé L, Singh SK i in. (2019) Fungal Pigments and Their Prospects in Different Industries. *Microorganisms* 7(12), 604.
- Lin YL, Wang TH, Lee MH i in. (2008) Biologically active components and nutraceuticals in the *Monascus*-fermented rice: a review. *Applied Microbiology and Biotechnology* 77(5): 965-973.
- Lopes FC, Tichota DM, Pereira JQ i in. (2013) Pigment production by filamentous fungi on agro-industrial byproducts: an eco-friendly alternative. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 171(3): 616-625.
- Mukherjee G, Mishra T, Deshmukh SK (2017) Fungal Pigments: An Overview. In: *Developments in Fungal Biology and Applied Mycology*. Ed. Satyanarayana T, Deshmukh SK, Johri BN. Springer, Singapore, pp. 525-541.
- Ogbonna CN (2016) Production of food colourants by filamentous fungi. *African Journal of Microbiology Research* 10(26): 960-971.
- Ramesh C, Vinithkumar NV, Kirubakaran R i in. (2019) Multifaceted applications of microbial pigments: current knowledge, challenges and future directions for public health implications. *Microorganisms* 7(7): 186.
- Rao N, Prabhu M, Xiao M i in. (2017) Fungal and bacterial pigments: secondary metabolites with wide applications. *Frontiers in Microbiology* (8): 1-13.
- Sajid S, Akbar N (2018) Applications of fungal pigments in biotechnology. *Pure and Applied Biology* 7(3): 922-930.
- Sen T, Barrow CJ, Deshmukh SK (2019) Microbial pigments in the food industry - Challenges and the way forward. *Frontiers in Nutrition* 6:7.
- Singgih M, Julianti E (2015) Food colorant from microorganisms. In: *Beneficial Microorganisms in Food and Nutraceuticals*. Ed. Liong MT. Springer, Cham, pp. 265-284.
- Statham B (2006) E213 Tabele dodatków i składników chemicznych czyli co jesz i czym się smarujesz. Wydawnictwo RM. Warszawa, pp. 86-87.
- Vendruscolo F, Bühler RMM, de Carvalho JC i in. (2016) *Monascus*: a reality on the production and application of microbial pigments. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 78(2): 211-223.
- Yongsmith B, Thongpradis P, Klinsupa W i in. (2013) Fermentation and quality of yellow pigments from golden brown rice solid culture by a selected *Monascus* mutant. *Applied Microbiology and Biotechnology* 97(20): 8895-8902.

21. „Drugie życie” odpadów kawowych

The "second life" of coffee wastes

Zięzio Magdalena

Katedra Chromatografii, Instytut Nauk Chemicznych, Wydział Chemii, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

Opiekun naukowy: dr hab. Barbara Charmas, prof. UMCS

Zięzio Magdalena: magdalena.ziezio@poczta.umcs.lublin.pl

Słowa kluczowe: organiczne materiały odpadowe, węgle aktywne,

Streszczenie

Kawa jest jednym z najczęściej spożywanych napojów na świecie oraz drugim, zaraz po ropie naftowej, najcenniejszym towarem notowanym na giełdach światowych. Produkcja kawy jest kluczowa dla gospodarki i polityki wielu rozwijających się krajów, w tym Brazylii. Uprawa owoców kawowca a następnie ich przetwarzanie, handel, transport i marketing zapewniają zatrudnienie wielu milionom osób. Jednakże, ze względu na duże zapotrzebowanie na ten produkt, powstają znaczne ilości stałych odpadów, które mogą stanowić realne zagrożenie dla środowiska naturalnego a tym samym dla zdrowia człowieka. Stałe odpady poprodukcyjne, takie jak łuski lub ziarna kawy z defektami a także zużyte fusy stwarzają szereg problemów, które są związane przede wszystkim z ich utylizacją. Większość z tych odpadów jest składowana na składowiskach, lecz te z powodu przepelnienia nie spełniają już dobrze swojej funkcji. Dlatego coraz częściej uwaga naukowców jest skupiona na poszukiwaniu nowych metod ponownego wykorzystania tych stałych pozostałości. Takie rozwiązanie po części pomoże rozwiązać problem z zalegającymi odpadami co jest bardzo istotne zarówno z ekologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia.

1. Wstęp

Słowo „kawa” pochodzi od arabskiego słowa *Quahweh*. Kawa była spożywana już ponad 1000 lat temu a dziś stanowi jeden z najpopularniejszych napojów na świecie. Każdego roku ludzie wypijają ponad 400 miliardów filiżanek.

Za propagowanie kultury kawowej była odpowiedzialna Arabia. Najstarsze rękopisy, które dotyczą kawy, pochodzą z 575 r. z Jemenu. Jednakże dopiero w XVI wieku w Persji pierwsze ziarna kawy zostały przygotowane i zamienione w napój, który jest znany obecnie. W Europie kawa pojawiła się w 1615 roku. Niemcy, Francuzi i Włosi szukali sposobu na zapoczątkowanie i rozwój plantacji kawy w swoich koloniach. Jednak to Holendrzy otrzymali pierwsze sadzonki i uprawiali je w ogrodzie botanicznym w Amsterdamie, co sprawiło, że napój ten stał się jednym z najczęściej spożywanych na starym kontynencie i tym samym stał się nieodłączną częścią nawyków Europejczyków. Dzięki doświadczeniom holenderskim a później francuskim uprawa kawy została przeniesiona do innych europejskich kolonii. Rozwój rynku europejskiego sprzyjał również rozwojowi plantacji kawy w krajach afrykańskich. Z czasem uprawa krzewów kawowych stała się popularna także wśród krajów Ameryki Południowej. Tym sposobem tajemnica Arabów została rozpowszechniona na całym świecie (Mussatto i in. 2011).

Drzewo kawowe nazywane także krzewem kawowym należy do rodziny *Rubiaceae*. Ziarna kawy pochodzą z rośliny *Coffea L.*, która występuje na świecie w ponad 70 gatunkach. Jednak tylko dwa gatunki tej rośliny są hodowane w celach komercyjnych: *Coffea arabica* (Arabica), uważana za najszlachetniejszą odmianę (stanowi 75% światowej produkcji) oraz *Coffea canephora* (Robusta), która charakteryzuje się wysoką odpornością na wiele chorób i szkodników (stanowi 25% światowej produkcji) (Belitz i in. 2009; Etienne 2005).

Termin „kawa” jest stosowany do szerokiej gamy produktów począwszy od świeżo zebranych owoców a skończywszy na gotowym produkcie, który stanowi kawa mielona jak również rozpuszczalna (Franca i Oliveira 2009).

Obecnie kawa jest produkowana w wielu krajach na całym świecie. Brazylia, Wietnam, Kolumbia lub Indonezja należą do dziesięciu krajów, które odpowiadają za około 80% światowej produkcji ziaren kawowych. Według raportu Międzynarodowej Organizacji Kawy (ang. *International Coffee Organization* – ICO) w latach 2017/2018 światowa produkcja kawy wyniosła 159,8 milionów worków o wadze 60 kilogramów. Za największego eksporterera kawy uważana jest Brazylia, która w 2018 roku wyprodukowała 49 milionów 60-kilogramowych worków ziaren co stanowi około jedną trzecią światowej produkcji kawy (ICO 2019).

Celem niniejszej pracy było nakreślenie problemów dotyczących produkcji dużej ilości odpadów pochodzących z przemysłu kawowego oraz przedstawienie potencjalnych możliwości ich ponownego wykorzystania.

2. Opis zagadnienia

Owoc kawowca, podobny do wiśni, nazywany jest powszechnie trześnią kawową. Składa się on z twardej, gładkiej skórki zewnętrznej, która w zależności od stopnia dojrzałości owocu wykazuje różny kolor. Niedojrzałe owoce charakteryzują się zieloną, natomiast dojrzałe czerwono-fioletową lub ciemnoczerwoną skórką zewnętrzną. Każda trześnia zawiera zazwyczaj dwa ziarna, które są pokryte błoną srebrzystą, a ta z kolei twardą łuską pergaminową (Mussato i in. 2011, Janissen i Huynh 2018).

Obróbka kawy obejmuje dwa główne etapy, tj. przetwarzanie pierwotne i wtórne.

Pierwotna obróbka owoców kawowca związana jest z dwiema metodami: suchą oraz mokrą. Metoda sucha to najprostsza technika przetwarzania wiśni kawy. Po zebraniu owoce są suszone do około 10-11% zawartości wilgoci a materiał, który pokrywa ziarna usuwany jest w urządzeniu do łuszczenia. Powstałe odpady są określane jako łuski kawowe. Technika ta stosowana jest dla kaw Robusta a także w przypadku większości kaw Arabica. Metoda ta jest bardzo efektywna, gdy owoce zbierane są metodą *strippingu*, czyli strząsania, przy jednoczesnym zbieraniu dojrzałych, przejrzalnych i niedojrzałych owoców (Vincent 1987).

W przypadku obróbki na mokro owoce mogą zawierać naturalną wilgoć, nie trzeba ich suszyć. Na początku zewnętrzna skórka i miąższ usuwane są w sposób mechaniczny. W ten sposób tworzy się stała pozostałość określana jako miąższ kawowy. Otrzymane ziarna mogą być poddawane dalszej fermentacji, w wyniku czego powstaje kawa mielona lub mogą być bezpośrednio poddane suszeniu, a produkt końcowy stanowią owoce kawowca pozbawione łusek. W obydwu przypadkach, po wysuszeniu do około 12% zawartości wilgoci, ziarna ponownie obłuszcza się, aby usunąć pergamin. Powstałe odpady stałe (pergamin i srebrna skóra) określa się zbiorczo mianem łupin pergaminowych (Franca i Oliveira 2009).

Następny etap obróbki ziaren kawy nazywany jest przetwarzaniem wtórnym i odpowiada za produkcję kawy rozpuszczalnej. W tym procesie palone i mielone ziarna kawy poddaje się działaniu gorącej wody pod ciśnieniem w celu wyekstrahowania rozpuszczalnego materiału, który następnie poddaje się suszeniu rozpyłowemu lub liofilizacji. nierozpuszczalną pozostałość czyli zawiesinę zawierającą zużyte fusy kawy, poddaje się prasowaniu aby zmniejszyć zawartość wilgoci z 75-80% do około 50% (Clarke 1987a; Clarke 1987b).

Zielone ziarna kawy, które są produktem komercyjnym, stanowią około 50-55% suchej masy dojrzałego owocu. W zależności od zastosowanej techniki przetwarzania, powstaje dodatkowy materiał, który jest zaliczany do różnego rodzaju produktów ubocznych – odpadów stałych (Franca i Oliveira 2008). Te produkty odpadowe stwarzają szereg problemów, które są związane przede wszystkim z ich utylizacją. Wynika to z faktu, że podczas przetwarzania owoców kawy są one produkowane w znacznych ilościach. Szacuje się, że każdego roku generuje się średnio ponad 2,5 miliona ton tych stałych pozostałości (Franca i Oliveira 2009).

Dodatkowe problemy związane są bezpośrednio z każdym rodzajem stałych pozostałości. Głównymi odpadami pochodzącymi z przetwarzania kawy są łuski kawowe i pulpa (miąższ). Szacuje się, że z każdej tony wyprodukowanych ziaren, powstaje około 0,5 tony łusek oraz 0,18 tony pulpy (Janissen i Huynh, 2018). Zarówno łuski kawowe jak i miąższ to materiały bogate w węglowodany, minerały i białka jednakże zawierają również mało pożądane związki organiczne takie jak taniny, kwas chlorogenowy i kofeinę. Te ostatnie związki znacznie ograniczają właściwości aplikacyjne tych

stałych pozostałości na przykład jako dodatku do pasz dla zwierząt (Fan i in. 2003; Jannissen i Huynh, 2018). Kolejnym produktem ubocznym przemysłu kawowego są zużyte ziarna kawy czyli fusy. Rocznie produkuje się ich około 6 milionów ton natomiast z jednej tony zielonych ziaren powstaje 650 kilogramów tych stałych pozostałości (Murthy i Naidu, 2012). Często są one niestety wykorzystywane do zafałszowania palonej i mielonej kawy, ponieważ ich obecność jest praktycznie niemożliwa do wykrycia. W wyniku tego jakoś spożywanego napoju znacząco spada.

W dzisiejszych czasach wywierana jest wielka presja zarówno polityczna jak i społeczna aby zredukować ilość produktów odpadowych powstających w wyniku działalności przemysłowej oraz rolniczej. Produkcja odpadów w tak ogromnych ilościach generuje problemy w obszarze ochrony środowiska oraz ostatnio coraz bardziej popularnego recyklingu. Odpady stałe z rolnictwa i żywności są materiałami o dużej objętości i niskiej wartości. Niestety, są one wysoce podatne na psucie się pod wpływem działania drobnoustrojów. To ogranicza możliwość ich eksploatacji. Ich stosowanie jest również wykluczone przez ograniczenia prawne a także koszty zbierania, suszenia, przetwarzania, przechowywania i transportu. Dlatego prawie wszystkie kraje rozwinięte i rozwijające się starają się modyfikować procesy produkcyjne, tak aby wyprodukowane stałe pozostałości mogły zostać poddane recyklingowi. W konsekwencji większość dużych firm nie traktuje już pozostałości jako odpadów, ale jako surowce (prekursory) wykorzystywane w innych procesach (Mussatto i in. 2006; Mussatto i in. 2011).

3. Przegląd literatury

Ponowne wykorzystanie produktów ubocznych, powstających podczas produkcji kawy ma zasadnicze znaczenie dla ich unieszkodliwiania a tym samym ograniczenia zanieczyszczenia środowiska. Do tej pory stałe pozostałości kawowe były wykorzystywane między innymi jako dodatek do paszy dla zwierząt, kompost oraz nawóz. Jednakże wraz z rozwojem technologii te stałe odpady znalazły nowe zastosowanie wielu różnych dziedzinach naukowych.

3.1 Produkcja węgla aktywnego

Węgłe aktywne należą do materiałów wszechstronnie stosowanych zarówno w życiu codziennym jak i przemyśle, ze względu na bardzo dobrze rozwiniętą powierzchnię i strukturę porowatą, wysoki stopień reaktywności czy też wyjątkowe właściwości fizykochemiczne, zwłaszcza te dotyczące adsorpcji. Porowate materiały węglowe cieszą się bardzo dużym zainteresowaniem naukowców oraz przedstawicieli środowiska przemysłowego z uwagi na możliwość ich wykorzystania między innymi w procesach adsorpcji, katalizy czy rozdziału. Ze względu na wysoką zdolność adsorpcji substancji nieorganicznych i organicznych powszechnie wykorzystywane są jako adsorbenty w procesach usuwania zanieczyszczeń z powietrza, wody i gazów przemysłowych (Choma 2013).

Przykładową procedurę otrzymywania węgla aktywnych zaproponował Laksaci i współpracownicy (Laksaci i in. 2017), którzy w tym celu wykorzystali ziarna kawy (Robusta). Na początku pozostałości kawowe były przepłukiwane w wodzie destylowanej aby pozbyć się zanieczyszczeń: pyłu oraz substancji rozpuszczalnych w wodzie. Następnie materiał wyjściowy był suszony w 110°C przez 48h oraz wstępnie pirolizowany w temperaturze 400°C w atmosferze azotu w celu redukcji lotnych związków. Do aktywacji materiału wyjściowego wykorzystali KOH w trzech stosunkach impregnacji (mmol KOH/g prekursora): 9, 18 i 36. Karbonizację prowadzili w temperaturze 800°C w atmosferze azotu. W temperaturze końcowej próbki wygrzewano przez 1 godzinę. W celu pozbycia się namiaru czynnika aktywującego otrzymany materiał węglowy był przepłukiwany w roztworze HCl (0,1 N) a następnie suszony w temperaturze 110°C przez 24 godziny.

Zaproponowana procedura pozwoliła na otrzymanie węgla aktywnych o bardzo dobrze rozwiniętej powierzchni oraz objętości porów. Najlepsze parametry strukturalne osiągnięto w przypadku materiałów o najwyższym stopniu impregnacji tj. 36 mmol KOH/g ($S_{BET} = 1778 \text{ m}^2/\text{g}$ oraz $V_{total} = 0,657 \text{ cm}^3/\text{g}$). Ponadto wyprodukowane materiały charakteryzowały się wysoką zdolnością sorpcyjną w stosunku do błękitu metylenowego (Laksaci i in. 2017).

Wykorzystanie stałych pozostałości kawowych do produkcji węgli aktywnych pozwala otrzymać efektywne adsorbenty z tanich powszechnie dostępnych materiałów. Ponadto węgle aktywne wytwarzane z tego typu odpadów charakteryzują się większą zdolnością sorpcyjną niż węgle komercyjne. Ze względu na zróżnicowany skład odpadów wyjściowych, w otrzymanych węglach mogą występować specyficzne grupy funkcyjne i heteroatomy, które stanowią dodatkowe centra adsorpcyjne, a nawet fotokatalityczne.

3.2 Produkcja barwników spożywczych

W przemyśle spożywczym stosuje się przede wszystkim barwniki syntetyczne, które mogą wywierać niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka. Dlatego coraz częściej wykorzystuje się barwniki naturalne, które z powodzeniem można stosować w produktach spożywczych. Do naturalnych barwników należą antocyjany. Barwniki te są rozpuszczalne w wodzie oraz charakteryzują się właściwościami przeciwzapalnymi oraz antyoksydacyjnymi. Powszechnie antocyjany występują w owocach oraz warzywach jednak w ostatnich latach podjęto próby ekstrakcji tego barwnika z odpadów kawowych.

Prata i Oliveira (Prata i Oliveira 2007) badali możliwość pozyskania antocyjanów ze świeżych łusek kawowych. Ekstrakcja barwnika przebiegała wieloetapowo z wykorzystaniem zakwaszonego roztworu metanolu. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że antocyjaniną występującą w największej ilości był 3-rutynozyd cyjanidyny. Ponadto analiza ilościowa potwierdziła, że świeże łuski kawowe są doskonałym źródłem tego barwnika.

3.3 Produkcja enzymów i metabolitów wtórnych

Okolo 90% wszystkich enzymów przemysłowych jest wytwarzanych w procesach fermentacji zanurzeniowej. W tego typu metodach bardzo często wykorzystuje się specjalnie zoptymalizowane i genetycznie zmodyfikowane mikroorganizmy. Jednak w ostatnich latach znacznie wzrosło zainteresowanie wykorzystaniem stałych pozostałości z przemysłu kawowego jako substratów w procesach biologicznych. W różnego typu bioprocessach wykorzystuje się przede wszystkim miąższ oraz łuski kawowe. Odpady te są stosowane między innymi do produkcji enzymów, związków aromatycznych jak również grzybów.

Jednym z najwcześniejszych podejść do stosowania miazgi i łusek kawowych było wytwarzanie enzymów, takich jak pektynaza, tanaza i kofeina. Na przykład wykorzystując łuski kawowe, udało się zoptymalizować oraz zwiększyć 8,6-krotnie produkcję tanazy z grzyba *Paecilomyces variotii* (Battestin i Macedo 2007). Ponadto ten rodzaj odpadów kawowych jest również stosowany do produkcji takich enzymów jak amylaza, proteaza i ksylanaza przy użyciu grzybów *N. crassa*, *A. oryzae*, *Penicillium* sp. i *A. niger* (Murthy i Naidu 2010).

Ze względu na skład chemiczny skórka srebrzysta jest doskonałym materiałem do stosowania jako źródło składników odżywczych podczas produkcji fruktooligosacharydów i fruktofuranozydazy przez *Aspergillus japonicus* (Mussatto i Teixeira 2010). Proces ten jest interesującą i obiecującą strategią syntezy obu tych produktów na poziomie przemysłowym.

Wykorzystanie stałych odpadów kawowych w bioprocessach pozwala nie tylko obniżyć koszty procesu produkcyjnego ale również jest doskonałą alternatywą do efektywnej utylizacji tego typu odpadów.

3.4 Wypełniacze płyt wiórowych

Stałe odpady kawowe są coraz częściej wykorzystywane jako dodatek do produkcji płyt wiórowych. Łuski kawowe zawierają duże ilości celulozy i hemicelulozy. Dzięki temu materiał ten posiada właściwości podobne drewna. Płyta drewniana zawierająca łuski kawowe może być stosowana do produkcji różnego typu produktów o charakterze paneli, ze względu na doskonałe właściwości zginania i wiązania wewnętrznego. W produktach wytwarzanych z płyt wiórowych drewno może zostać zastąpione nawet w 50% (Murthy Naidu 2012).

3.5 Kompostowanie i wermikompostowanie

Kompostowanie to przyspieszona biooksydacja materii organicznej zachodząca w temperaturze 45°C-65°C, podczas której mikroorganizmy (głównie bakterie, grzyby

i promieniowce) uwalniają ciepło, dwutlenek węgla i wodę. Niejednorodny materiał organiczny przekształca się w homogeniczny i ustabilizowany produkt podobny do humusu. Wermikompostowanie jest także procesem biooksydacji i stabilizacji materiału organicznego lecz wymaga wspólnego działania dżdżownic i mikroorganizmów i nie obejmuje etapu termofilnego. Dżdżownice odpowiadają za fragmentację i napowietrzanie materii. Kompostowanie i wermikompostowanie to opłacalna technologia, która może być wykorzystywana na poziomie przemysłowym do recyklingu odpadów przemysłowych. Produkty pochodzące z recyklingu wzmacniają składniki odżywcze gleby oraz zapewniają lepszy wzrost roślin. Łuski kawowe to doskonały odpad wykorzystywany w tego typu procesach (Jannissen i Huynh 2018).

4. Podsumowanie

Kawa jest produktem bardzo istotnym dla gospodarki światowej. Jest to jeden z najcenniejszych, podstawowych produktów w handlu światowym. Jej uprawa, przetwarzanie, handel, transport i marketing zapewniają zatrudnienie milionom ludzi na całym świecie. Kawa ma kluczowe znaczenie dla gospodarki i polityki wielu krajów rozwijających się. W wielu najstabiliej rozwiniętych krajach świata eksport kawy stanowi znaczną część dochodów państwa, w niektórych przypadkach wartość ta stanowi ponad 80%.

Równocześnie przemysł kawowy jest odpowiedzialny za wytwarzanie ogromnych ilości odpadów. Głównymi produktami ubocznymi powstającymi przy produkcji kawy są zużyte ziarna kawy (fusy) oraz skórka srebrzysta. Ogromne znaczenie mają zatem poszukiwania alternatywnych sposobów wykorzystania tych stałych pozostałości, ponieważ ich utylizacja na składowiskach może powodować poważne problemy środowiskowe. Ponowne wykorzystanie tych odpadów jest interesującą alternatywą zarówno z ekologicznego jak i ekonomicznego punktu widzenia. Dzięki temu można zredukować ilość zalegających odpadów, wyprodukować nowe produkty o wartości dodanej oraz stworzyć nowe miejsca pracy dla wielu osób.

5. Literatura

- Belitz HD, Grosch W, Schieberle P (2009) Coffee, tea, cocoa. w: Food Chemistry 4 edycja, HD. Belitz, W Grosch i P. Schieberle (Eds.). Leipzig, Springer 938-951
- Battestin V, Macedo GA (2007) Tannase production by *Paecilomyces variotii*. *Bioresource Technology* 98:1832–7
- Choma J (2013) Mikro-mezoporowate węgle: otrzymywanie, właściwości, zastosowanie. *Inżynieria i Ochrona Środowiska* 16:163-178
- Clarke RJ (1987a) Extraction. *Coffee Technology*, Springer 109-145
- Clarke RJ (1987b) Drying. *Coffee Technology*, Springer 147-199
- Etienne H (2005) Somatic embryogenesis protocol: coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* P.). w: Protocol for somatic embryogenesis in woody plant. Dordrecht: Springer 167–168
- Fan L, Soccol AT, Pandey A, Soccol CR (2003) Cultivation of *Pleurotus* mushrooms on Brazilian coffee husk and effects of caffeine and tannic acid. *Micologia Aplicada Internacional* 15:15–21
- Franca AS, Oliveira LS (2008) Chemistry of defective coffee beans. *Nova Publishers* 34:105-138
- Franca AS, Oliveira LS (2009) Coffee processing solid wastes: Current uses and future perspectives. *Agricultural Wastes* 9:155-189
- ICO – International Coffee Organisation. Statystyczna baza danych
- Janissen B, Huynh T (2018) Chemical composition and value-adding applications of coffee industry byproducts: A review. *Resources, Conservation and Recycling* 128:110–117
- Laksaci H, Khelifi A, Trari M i In (2017) Synthesis and characterization of microporous activated carbon from coffee grounds using potassium hydroxides. *Journal of Cleaner Production* 147:254-262
- Murthy PS, Naidu MM (2010) Recovery of phenolic antioxidants and functional compounds from coffee industry by-products. *Food and Bioprocess Technology* 5:897-903
- Murthy PS, Naidu MM (2012) Sustainable management of coffee industry by-products and value addition— A review. *Resources, Conservation and Recycling* 66: 45– 58

- Mussatto SI, Dragone G i Roberto IC (2006) Brewer's spent grain: generation, characteristics and potential applications. *Journal of Cereal Science* 43:1–14
- Mussatto SI, Teixeira JA (2010) Increase in the fructooligosaccharides yield and productivity by solid-state fermentation with *Aspergillus japonicus* using agro-industrial residues as support and nutrient source. *Biochemical Engineering Journal* 53:154–157.
- Mussatto SI, Machado EMS, Martins S i in. (2011) Production, composition and application of coffee and its industrial residues. *Food and Bioprocess Technology* 4:661–672
- Prata ERA, Oliveira LS (2007) Fresh coffee husks as potential sources of anthocyanins. *LWT - Food Science and Technology* 40:1555-1560
- Vincent JC (1987) Green coffee processing. *Coffee Technology*, Elsevier Science Publishers LTD 1–33