

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

Wybrane zagadnienia z zakresu bromatologii

Tom 5

Środowisko - Roślina - Zwierzę - Produkt

WUP

Wybrane zagadnienia
z zakresu bromatologii

Tom 5

Środowisko – Roślina – Zwierzę – Produkt

Wybrane zagadnienia z zakresu bromatologii

Tom 5

pod redakcją
Marka Babicza
Urszuli Szymanowskiej

Lublin 2025

Recenzenci
dr hab. inż. Beata Bilska, prof. uczelni
dr hab. Tomasz Grenda
dr hab. Anna Berthold-Pluta, prof. uczelni

Redaktor prowadzący
Magdalena Marcewicz

Skład i łamanie
Małgorzata Grzesiak

Opracowanie redakcyjne
Agnieszka Pokryszka-Prażmo

Projekt okładki
Jacek Pałyszka



Ten utwór jest dostępny na licencji [Creative Commons Uznanie autorstwa – Na tych samych warunkach 4.0 Międzynarodowe](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ISBN 978-83-7259-489-1 online
<https://doi.org/10.24326/mon.2025.11>

WUP

Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie

ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin

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

6,4 ark. wyd.

Spis treści

Małgorzata Górecka, Anna Teter, Monika Kędzierska-Matysek, Piotr Domaradzki	
Certyfikacja produktów spożywczych w krajowych systemach jakości	7
Certification of food products in national food quality systems	
Sebastian Kuśmierczyk, Anna Kwiecińska, Paulina Kęska	
Wpływ wybranych składników pokarmowych na funkcjonowanie układu immunologicznego	16
The influence of selected nutrients on the functioning of the immune system	
Sebastian Kuśmierczyk, Anna Kwiecińska, Paulina Kęska	
Wpływ różnych modeli żywieniowych na odporność organizmu	24
The influence of different nutritional models on the immunity of the human body	
Anna Kwiecińska, Sebastian Kuśmierczyk, Piotr Domaradzki, Anna Teter	
Edukacja żywieniowa w zakresie racjonalnego stosowania suplementów diety	32
Nutritional education on the rational use of dietary supplements	
Wiktoria Momola, Oliwia Żeleźnik, Michał Rapacewicz, Anna Teter, Piotr Domaradzki	
Dieta low-FODMAP jako strategia łagodzenia objawów IBS	41
The Low-FODMAP diet as a strategy for alleviating IBS symptoms	
Anna Oleszczuk, Agnieszka M. Grzebalska, Julia Koziel, Noemi Kufrejska, Szymon Kosmala	
Dobrze znane, codziennie używane – ale czy na pewno o dobrym działaniu na nerki?	49
Well-known, commonly used – but is it really effective for kidney health?	
Julia Pachocka, Oktawia Wojtaszek, Agata Szymczak, Anna Szymaszek, Jose Luis Valverde Piedra, Sylwia Szymańczyk	
Białka serwatkowe: właściwości, zastosowania i potencjalne korzyści zdrowotne	57
Whey proteins: properties, applications, and potential health benefits	
Emilia Radzimowska, Jadwiga Topczewska	
Analiza procesu produkcji na przykładzie gospodarstwa sadowniczego	65
Analysis of the production process on the example of an orchard farm	

Michał Rapacewicz, Oliwia Żeleźnik, Wiktoria Momola, Anna Teter, Piotr Domaradzki	
Żywnościowe i pozażywnościowe czynniki wpływające na poziom testosteronu u mężczyzn	74
Nutritional and non-nutritional factors affecting testosterone levels in men	
 Agata Szymczak, Anna Szymaszek, Oktawia Wojtaszek, Julia Pachocka, Jose Luis Valverde Piedra, Sylwia Szymańczyk	
Rola błonnika pokarmowego: właściwości, zastosowania i znaczenie w profilaktyce zdrowotnej	82
The role of dietary fiber: properties, applications, and significance in health prevention	
 Oliwia Żeleźnik, Wiktoria Momola, Michał Rapacewicz, Anna Teter, Piotr Domaradzki	
Znaczenie diety, aktywności fizycznej i edukacji żywieniowej w profilaktyce i leczeniu cukrzycy typu 2	90
The importance of diet, physical activity and nutrition education in the prevention and management of type 2 diabetes	

Certyfikacja produktów spożywczych w krajowych systemach jakości żywności

Certification of food products in national food quality systems

Wstęp

Współcześni konsumenci oczekują żywności o sprawdzonym pochodzeniu, wysokich walorach sensorycznych oraz zgodnej z określonymi standardami produkcji. W odpowiedzi na te potrzeby w wielu krajach funkcjonują krajowe systemy jakości żywności, które mają na celu wyróżnienie produktów spełniających określone kryteria i zapewnienie ich autentyczności. Produkty wytwarzane w ramach tych systemów podlegają certyfikacji, a ich wysoką jakość potwierdzają odpowiednie znaki graficzne. Znaki jakości należą do oznaczeń dobrowolnych i można je umieszczać na etykiecie po spełnieniu określonych wymagań charakterystycznych dla danego systemu. Mają one za zadanie ułatwić konsumentom wybór określonych produktów, a wyroby oznaczone takimi znakami cieszą się większym zaufaniem klientów [Stawicka 2019].

Jednak problemem jest rozpoznawalność stosowanych oznaczeń jakości żywności. Kaczorowska i współautorzy [2018], analizując postrzeganie przez konsumentów żywności oznaczonej znakami jakości, wykazali, że w pierwszej kolejności konsumenci zwracali uwagę na świeżość i jakość produktów, następnie na smak i cenę, wygląd i markę produktu. Najmniej ważne okazały się znaki potwierdzające posiadanie certyfikatu, kraj pochodzenia produktu oraz sposób jego wytworzenia.

W Polsce funkcjonuje wiele systemów jakości żywności, które sygnowane są przez różne instytucje, np. Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi (Poznaj Dobrą Żywność), izby (np. Polska Izba Produktu Regionalnego i Lokalnego: Nasze Kulinarne Dziedzictwo-Smaki regionów) czy fundacje (np. Fundacja Polskiego Godła Promocyjnego – Teraz Polska). Znaki jakości mogą być przyznawane także przez związki, stowarzyszenia lub czasopisma [Kot 2021]. Kraje Unii Europejskiej mają prawo do tworzenia krajowych systemów i programów jakościowych. W Polsce funkcjonują takie systemy, jak Jakość Tradycja, Integrowana Produkcja, System Jakości Wieprzowiny (ang. Pork Quality Sys-

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Sekcja Oceny Jakości i Bezpieczeństwa Żywności, malgozq12@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych

tem, PQS), System Jakości Wołowiny (ang. Quality Meat Program, QMP), System Gwarantowanej Jakości Żywności (ang. Quality Assurance for Food Products, QAFF) [Krzyżanowski 2017].

Uznawanie krajowych systemów jakości żywności odbywa się na podstawie art. 7 ust. 1 Ustawy z dnia 8 lutego 2023 r. o Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 [2023]. Zgodnie z przepisami, decyzję w tym zakresie podejmuje minister właściwy do spraw rozwoju wsi, przy czym odnosi się ona do systemów wskazanych w art. 47 lit. a Rozporządzenia delegowanego Komisji (UE) 2022/126 z dnia 7 grudnia 2021 r., stanowiącego uzupełnienie rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/2115. Regulacje te określają dodatkowe warunki dla interwencji przewidzianych przez państwa członkowskie w ramach krajowych planów strategicznych WPR na lata 2023–2027 oraz odnoszą się m.in. do przepisów dotyczących norm dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (GAEC) nr 1 [2022]. Uznanie systemów certyfikacji gospodarstw, produktów rolnych lub żywnościowych jest możliwe pod warunkiem spełnienia określonych kryteriów. W szczególności produkt końcowy wytwarzany w ramach danego systemu musi wykazywać charakterystyczne cechy wynikające z obowiązku zapewnienia jednego lub kilku z następujących elementów: specyficznych cech produktu, określonej metody produkcji lub uprawy bądź jakości przewyższającej obowiązujące standardy handlowe w odniesieniu do zdrowia ludzi, zwierząt lub roślin, dobrostanu zwierząt lub ochrony środowiska. Systemy jakości żywności powinny być otwarte dla wszystkich zainteresowanych producentów oraz obejmować obowiązujące specyfikacje produktów. Zgodność z tymi wymaganiami podlega kontroli przez organy państwowe lub niezależne jednostki certyfikujące. Systemy te charakteryzują się transparentnością oraz zapewniają pełną identyfikowalność wytwarzanych produktów.

Celem pracy było przedstawienie zasad wyróżniania produktów o ponadstandardowej jakości w ramach funkcjonowania wybranych krajowych systemów jakości żywności.

Przegląd wybranych systemów certyfikacji żywności w Polsce

Zgodnie z Ustawą z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności certyfikację należy rozumieć jako działanie jednostki certyfikującej, wykazujące, że należycie zidentyfikowany wyrób lub proces jego wytwarzania są zgodne z zasadniczymi lub szczegółowymi wymaganiami [2010]. Według Wiśniewskiej [2014] jest ona narzędziem zaufania publicznego, rodzajem zabezpieczenia przed fałszowaniem żywności i silnym atutem marketingowym.

Jakość Tradycja

Opracowany przez Polską Izbę Produktu Regionalnego i Lokalnego we współpracy ze Związkiem Województw Rzeczypospolitej Polskiej system, Jakość Tradycja został oficjalnie uznany za krajowy system jakości żywności decyzją Ministra Rolnictwa i Roz-

woju Wsi z dnia 12 czerwca 2007 roku. Znak „Jakość Tradycja” (ryc. 1) jest zarejestrowany w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej i podlega ochronie prawnej na mocy przepisów dotyczących własności przemysłowej jako wspólny znak gwarancyjny. Do systemu mogą być przyjmowane tylko produkty o ponadstandardowej jakości wynikającej z ich tradycyjnego charakteru, posiadające szczególną jakość, reputację lub inne cechy odróżniające je od innych należących do tej samej kategorii. Producent deklaruje zachowanie wyższych standardów produkcyjnych lub wyjątkowych cech produktów. Przed dopuszczeniem do uczestnictwa w systemie produkt podlega szczegółowej weryfikacji zgodnie z regulaminem znaku zatwierdzonym przez radę, zarząd izby oraz Związek Województw Rzeczypospolitej Polskiej. Wymagane jest udokumentowanie 50 lat wytwarzania produktu z zachowaniem tradycyjnej receptury, surowców i technologii. W przypadku produktów pochodzących z produkcji podstawowej dodatkowym kryterium jest stosowanie tradycyjnych ras zwierząt lub odmian roślin. Za tradycyjne uznaje się te rasy i odmiany, które były użytkowane przed rokiem 1956. Uczestnicy systemu Jakość Tradycja muszą posiadać certyfikat potwierdzający zgodność produkcji z określoną specyfikacją produktu. Do 20 lutego 2025 roku w systemie zarejestrowano 322 produkty wytworzone przez 143 producentów z całego kraju. Najwięcej zarejestrowanych produktów pochodzi z województwa łódzkiego (66), wielkopolskiego (56) i mazowieckiego (54), a najmniej z województw zachodniopomorskiego (2) i opolskiego (3) – tabela 1 [<https://www.produktyregionalne.pl>].



Ryc. 1. Znak systemu Jakość Tradycja [<https://www.produktyregionalne.pl>]

Tabela 1. Liczba zgłoszonych produktów w systemie Jakość Tradycja z podziałem na województwa (stan na 20 lutego 2025 roku) [oprac. własne na podst. <https://www.produktyregionalne.pl>]

Województwo	Liczba zgłoszonych produktów	Liczba producentów
łódzkie	66	25
wielkopolskie	56	19
mazowieckie	54	22
lubelskie	24	12
świętokrzyskie	23	14
małopolskie	21	10
kujawsko-pomorskie	19	8
podkarpackie	11	6
podlaskie	11	4
pomorskie	9	3
śląskie	8	5
warmińsko-mazurskie	8	5
dolnośląskie	7	4
opolskie	3	3
zachodniopomorskie	2	3

System Gwarantowanej Jakości Żywności

System QAFP powstał z inicjatywy Unii Producentów i Pracodawców Przemysłu Mięsnego, organizacji skupiającej przedsiębiorstwa działające w sektorze mięsnym (znak jakości przedstawia ryc. 2). Na mocy decyzji Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 11 grudnia 2009 roku system ten został oficjalnie uznany za krajowy system jakości żywności. Jest on dobrowolnym programem jakości o charakterze multiproduktowym. Obejmuje mięso wieprzowe, drobiowe oraz wędliny. Długoterminowa strategia rozwoju systemu zakłada jego ciągle doskonalenie oraz stopniowe rozszerzanie na kolejne grupy produktów. Celem QAFP jest zagwarantowanie konsumentom produktów spełniających wysokie standardy jakościowe w zakresie bezpieczeństwa żywności, walorów sensorycznych oraz zgodności z określonymi wymaganiami produkcyjnymi. Jakość w systemie QAFP kształtowana jest na wszystkich etapach łańcucha produkcyjnego, „od pola do stołu”, zaczynając od doboru odpowiednich ras zwierząt, poprzez proces produkcyjny i pakowanie, aż po końcową dystrybucję wyrobu finalnego. System opiera się na szczegółowych wytycznych dotyczących dobrostanu zwierząt na każdym etapie produkcji,

właściwego ich żywienia, standardów uboju i przetwórstwa, kontroli parametrów jakościowych i bezpieczeństwa mikrobiologicznego oraz oznakowania produktów w sposób transparentny dla konsumenta. Na każdym z tych etapów uczestnik systemu jest zobowiązany do przestrzegania rygorystycznych wymagań, których spełnienie weryfikowane jest przez niezależną jednostkę certyfikującą. Mięso wieprzowe (schab, szynka, karkówka, polędwiczka, łopatka) musi być wolne od wad jakościowych, nie może być mrożone ani nastrzykiwane. Zawartość tłuszczu śródmięśniowego w schabie powinna wynosić 2–3%, w celu zapewnienia swobodnego smaku, kruchości i soczystości mięsa. Mięso drobiowe również nie może być mrożone ani nastrzykiwane. Wędliny są produkowane z wysokiej jakości surowca QAFP. Niedozwolone jest stosowanie mięsa odkostnionego mechanicznie, substancji wzmacniających smak i zapach oraz preparatu dymu wędzarniczego. Dozwolone jest stosowanie tylko naturalnych przypraw [<https://qafp.pl/>].



Ryc. 2. Znak systemu QAFP [<https://qafp.pl/>]

System Gwarantowanej Jakości Wołowiny

System QMP to otwarty model produkcji żywca oraz mięsa wołowego o potwierdzonej wysokiej jakości. Decyzją Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 20 października 2008 roku został uznany za krajowy system jakości żywności. Administratorem systemu i właścicielem znaku QMP jest Polskie Zrzeszenie Producentów Bydła Mięsnego. Wysoka jakość wołowiny wytwarzanej w ramach QMP jest rezultatem szczególnie określonych wymagań produkcyjnych, głównie dotyczących doboru odpowiednich ras zwierząt rzeźnych. Do produkcji kwalifikowanej dopuszczane jest bydło takich ras mięsnych, jak: limousine, charolaise, angus, hereford, salers, simental, highland, wagyu, blond d'Aquitaine, a także mieszańce, których materiał ojcowski pochodzi od buhajów ras mięsnych. Wołowina pozyskiwana ze zwierząt tych ras może zostać oznaczona znakiem „Wołowina QMP z ras mięsnych” (ryc. 3). Standard QMP został na mocy decyzji

Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi 1 stycznia 2024 roku poszerzony o bydło ras mlecznych (holsztyńsko-fryzyjska odmiana czarno- i czerwono-biała, europejskie bydło czerwone, polska czarno- i czerwono-biała) i ich mieszańców oraz bydła w typie użytkowym kombinowanym (polska czerwona, montbeliarde, białogrzbieta, simental) i ich mieszańców, których materiał ojcowski pochodzi od buhajów ras mlecznych i kwalifikuje się do oznaczania znakiem „Wołowina QMP z ras mlecznych” (ryc. 4). System obejmuje certyfikację poszczególnych etapów łańcucha dostaw wołowiny, rozpoczynając od produkcji żywca wołowego, poprzez produkcję i dostawców pasz, transport, na przetwórcach kończąc. Podmioty te poddają się niezależnej ocenie jednostki certyfikującej wyroby [Wierzbicka i in. 2013].



Ryc. 3. Znak systemu QMP dla wołowiny z ras mięsnych [<https://qmpsystem.eu/>]



Rycina 4. Znak systemu QMP dla wołowiny z ras mlecznych [<https://qmpsystem.eu/>]

System Jakości Wieprzowiny

Ten zintegrowany system produkcji wieprzowiny, ukierunkowany na zapewnienie jakości wykraczającej poza standardowe wymagania rynkowe, funkcjonuje jako krajowy system jakości żywności od 2009 roku. Jego administratorem jest Polski Związek Hodowców i Producentów Trzody Chlewnej „POLSUS” oraz Związek Polskie Mięso. Stanowi on kompleksowy model produkcji wieprzowiny, realizowany zgodnie z koncepcją łańcucha „od pola do stołu”. Jego głównym celem jest wytwarzanie mięsa wieprzowego o niskiej zawartości tłuszczu, przy jednoczesnym zachowaniu kluczowych parametrów

jakości cenionych przez konsumentów oraz przetwórców. Możliwa jest również produkcja wędlin PQS. System obejmuje cały łańcuch procesu produkcyjnego: od hodowli, poprzez produkcję prosiąt, żywca wieprzowego, obrót przedubojowy, ubój, przetwórstwo aż po dystrybucję. Standardy obowiązujące w PQS na każdym etapie produkcji mają bezpośredni wpływ na końcową jakość mięsa oraz zapewniają wytworzenie produktu o ponadstandardowej jakości. Mięso produkowane w ramach systemu charakteryzuje się dłuższą trwałością, wysoką przydatnością kulinarną i przetwórczą, a także atrakcyjnością smakową i wizualną dla konsumentów. Ponadto wieprzowina uzyskana w PQS może stanowić wysokiej jakości surowiec bazowy do dalszej produkcji wyrobów mięsnych. Wymogi PQS obejmują wybór zwierząt wolnych od homozygotycznej formy genu wrażliwości na stres RYR1^T, która warunkuje występowanie defektu jakości mięsa typu PSE (ang. pale, soft, exudative – jasne, miękkie i ciekące). Stosowanie właściwych ras świń i mieszańców z uwzględnieniem podziału ras na komponenty mateczne i ojcowskie pozwala na prawidłowe wykorzystanie potencjału genetycznego zwierząt w zakresie umięśnienia i otluszczenia tuszy. Ubój tuczników powinien następować przy masie ciała ok. 100 kg, co odpowiada wiekowi zwierząt 5–7 miesięcy. Zwierzęta przy tej masie ciała i wieku mają największe zdolności do odkładania białka, a tym samym produkowania chudego mięsa, pożądanego przez konsumentów.



Rycina 5. Znak systemu PQS [<https://www.polsus.pl/index.php/pork-quality-system>]

Podstawowym wymogiem żywieniowym jest wyeliminowanie na okres co najmniej miesiąca przed ubojem pasz negatywnie oddziałujących na jakość tuszy i mięsa, takich jak mączka rybna czy śruta kukurydziana. Żywnienie zwierząt powinno być odpowiednio zbilansowane i dostosowane do ich potrzeb, co pozwala zapobiec nadmiernemu otluszczeniu tuszy. Wymagany jest również prawidłowy obrót przedubojowy – czas transportu ma wynosić maksymalnie 8 godzin bez możliwości przedłużenia. Podjęcie takich działań pozwala na zapewnienie identyfikowalności na etapie hodowli, chowu, transportu, uboju, rozbioru i pakowania. Ponadto produkcja wieprzowiny w ramach PQS realizowana jest zgodnie z obowiązującymi przepisami dotyczącymi dobrostanu oraz zdrowia zwierząt i ludzi, a także z poszanowaniem zasad ochrony środowiska naturalnego. System ma charakter dobrowolny i otwarty, co oznacza, że każdy uczestnik łańcucha produkcyjnego może do niego przystąpić, zobowiązując się do przestrzegania dodatkowych wymogów określonych dla poszczególnych etapów produkcji. System zapewnia wiarygodność w zakresie wysokiej jakości produktu oraz jego identyfikowalności. Po spełnieniu wymagań systemu hodowcy, producenci oraz zakłady mięsne otrzymują certyfikat potwierdzający zgodność produkcji z obowiązującymi normami oraz uzyskują prawo do stosowania charakterystycznego logo, zgodnie z warunkami określonymi w regulaminie znaku towarowego. Logo PQS (ryc. 5) daje pewność, że wszystkie produkty nim oznaczone spełniły surowe kryteria jakości, co umożliwia konsumentowi dokonanie właściwego wyboru [<https://www.polsus.pl/index.php/pork-quality-system>]. Wszystkie elementy procesu produkcyjnego w procesie certyfikacji podlegają kontroli niezależnej jednostki certyfikującej, posiadającej upoważnienie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz uznane przez twórców systemu. System Jakości Wieprzowiny obejmuje dwa niezależne etapy kontroli, które zapewniają przejrzystość procesu produkcji oraz pełną identyfikowalność produktów. Pierwszy etap stanowi samokontrola prowadzona przez uczestników systemu zgodnie z wytycznymi opracowanymi dla poszczególnych faz produkcji wieprzowiny. Drugi polega na niezależnej weryfikacji zgodności z określoną specyfikacją, podczas której oceniany jest zarówno sam proces produkcyjny, jak i finalny produkt – wieprzowina wytworzona w PQS. Kontrole te przeprowadzane są przez akredytowane jednostki certyfikujące. Każdy uczestnik systemu poddawany jest weryfikacji przynajmniej raz w roku. Taki system kontroli gwarantuje konsumentom, że nabywają wieprzowinę o wysokiej jakości [Szteyn i in. 2014].

Podsumowanie

Krajowe systemy jakości żywności odgrywają istotną rolę w zapewnianiu wysokich standardów produkcji oraz budowaniu zaufania konsumentów do oferowanych produktów spożywczych. Ich funkcjonowanie opiera się na precyzyjnie określonych wymaganiach, których spełnienie umożliwia wyróżnienie żywności pod względem pochodzenia, sposobu wytwarzania oraz cech jakościowych. Z perspektywy konsumentów znaki jakości umieszczane na opakowaniach środków spożywczych powinny stanowić cenną wskazówkę odnośnie do ich unikatowych cech oraz ściśle nadzorowanego procesu produkcji. Powinny zatem umożliwiać konsumentom odróżnienie produktu o potwierdzonej jakości

od innych podobnych i ułatwić podjęcie decyzji zakupowych. Jednakże wyzwaniem jest duża ilość informacji zamieszczanych na etykiecie środka spożywczego, co może prowadzić do dezorientacji nabywców. Dlatego konieczne jest prowadzenie działań edukacyjnych zwiększających świadomość konsumentów w zakresie znaków jakości oraz umiejętności identyfikacji korzyści wynikających z wyboru produktów certyfikowanych.

Bibliografia

- Kaczorowska J., Rejman K., Nosarzewska J., 2018. Postrzeganie produktów żywnościowych oznaczonych certyfikatami spełniającymi ideę zrównoważonej konsumpcji. *Handel Wewn.* 2(373), 222–234.
- Kot K., 2021. Rozpoznawalność znaków jakości i certyfikacji. *Bezpieczeństwo żywności w praktyce* 36, <https://bezpieczenstwozywnosci.wip.pl/nr-36-listopad-2021-r./rozpoznawalnosc-znakow-jakosci-i-certyfikacji-3987.html> [dostęp: 29.03.2025].
- Krzyżanowski J.T., 2017. Krajowe systemy zapewnienia jakości żywności w wybranych krajach Unii Europejskiej. *Zesz. Nauk. SGGW – Probl. Rol. Świat.* 17(32), z. 2, 136–143, <https://doi.org/10.22630/PRS.2017.17.2.33>.
- Polska Izba Produktu Regionalnego i Lokalnego, <https://www.produktyregionalne.pl> [dostęp: 29.03.2025].
- Polski Związek Hodowców i Producentów Trzody Chlewnej „POLSUS”, <https://www.polsus.pl/index.php/pork-quality-system> [dostęp: 29.03.2025].
- Quality Meat Program, <https://qmssystem.eu/> [dostęp: 29.03.2025].
- Rozporządzenie Delegowane Komisji (UE) 2022/126 z dnia 7 grudnia 2021 r. uzupełniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2021/2115 o dodatkowe wymogi w odniesieniu do niektórych rodzajów interwencji określonych przez państwa członkowskie w ich planach strategicznych WPR na lata 2023–2027 na podstawie tego rozporządzenia, jak również o przepisy dotyczące współczynnika dotyczącego normy dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska (GAEC) nr 1, 2022, *Dz.U.UE.L.* 2022.20.52, <https://sip.lex.pl/akty-prawne/dzienniki-UE/rozporzadzenie-delegowane-2022-126-uzupelniajace-rozporzadzenie-parlamentu-69531467> [dostęp: 29.03.2025].
- Stawicka J., 2019. Znaki jakości – świadomość klientów oraz wpływ na ich decyzje zakupowe. *Zesz. Nauk. PCz – Zarządzanie* 33, 232–248, <http://dx.doi.org/10.17512/znpcz.2019.1.20>
- System Gwarantowanej Jakości Żywności, <https://qafp.pl/> [dostęp: 29.03.2025].
- Szteyn J., Wiszniewska-Łaszczych A., Bednarko-Młynarczyk E., Liedtke K., 2014. Wspólnotowe i krajowe systemy wyróżniania jakości żywności. *Med. Weter.* 70(11), 651–656.
- Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności, 2010, *Dz.U.* z 2010 r. Nr 138, poz. 935, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20021661360> [dostęp: 29.03.2025].
- Ustawa z dnia 8 lutego 2023 r. o Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027, 2023, *Dz.U.* z 2023 r., poz. 412, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20230000412> [dostęp: 29.03.2025].
- Wierzbicka A., Wierzbicki J., Woźniak A., 2013. Rola systemów jakości żywności na przykładzie systemu jakości wołowiny Quality Meat Program – System QMP. *Inż. Przetw. Spoż.* 4(8), 5–11.
- Wiśniewska M., 2014. (Pozornie) dobrowolne schematy certyfikacji żywności. *J. Manag. Finance* 12(1), 183–194.

Wpływ wybranych składników pokarmowych na funkcjonowanie układu immunologicznego

The influence of selected nutrients on the functioning of the immune system

Wstęp

Układ immunologiczny odgrywa główną rolę w ochronie organizmu przed patogenami, a jego prawidłowe funkcjonowanie jest niezbędne do zachowania zdrowia i zapobiegania chorobom. W ostatnich latach coraz więcej badań wskazuje na to, że dieta ma istotny wpływ na aktywność i efektywność układu odpornościowego. W szczególności składniki odżywcze, takie jak witaminy, minerały, białka oraz kwasy tłuszczowe, mogą modulować odpowiedź immunologiczną, wpływając na produkcję cytokin, aktywność komórek odpornościowych oraz homeostazę organizmu. Na przykład witaminy C i D oraz cynk (Zn) są znane ze swoich właściwości wspierających funkcje immunologiczne. Z kolei kwasy tłuszczowe omega-3 wykazują działanie przeciwzapalne, co może przyczyniać się do lepszej odpowiedzi organizmu na infekcje.

Celem niniejszej pracy było omówienie wpływu wybranych składników diety na działanie układu odpornościowego, ze szczególnym uwzględnieniem ich mechanizmów działania oraz potencjalnych korzyści zdrowotnych, na podstawie aktualnej literatury naukowej. Analiza ta ma charakter opisowy i bazuje na danych literaturowych pochodzących z badań klinicznych oraz eksperymentalnych, co pozwala na ukazanie znaczenia określonych składników żywieniowych w kontekście immunologii. W pracy przedstawiono również przykłady praktycznych zaleceń żywieniowych – w tym dotyczących spożycia witamin (D i C), kwasów omega-3 oraz wybranych mikroelementów – które mogą wspierać funkcjonowanie układu odpornościowego w codziennym życiu.

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Żywności i Żywienie Człowieka; Studenckie Koło Zarządzania Jakością i Bezpieczeństwa Żywności, kusmierczyx@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego

Składniki odżywcze niezbędne do prawidłowego funkcjonowania układu odpornościowego

Istnieje szereg składników żywności, w tym mikroelementy, witaminy oraz składniki odżywcze, jak aminokwasy, cholesterol czy kwasy tłuszczowe, które wykazują istotny i specyficzny wpływ na prawidłowe funkcjonowanie układu odpornościowego. Poniżej przedstawiono ich rolę w funkcjonowaniu układu immunologicznego.

Witamina D

Znana przede wszystkim z roli w regulacji metabolizmu wapnia i fosforu, odgrywa kluczową rolę w funkcjonowaniu układu odpornościowego. Syntetyzowana jest w skórze pod wpływem promieniowania UVB, a także może być pozyskiwana z diety. Po wchłonięciu witamina D jest metabolizowana do aktywnej formy kalcytriolu, który działa przez receptory witaminy D (ang. vitamin D receptor, VDR), obecne w różnych komórkach układu odpornościowego. Jej wpływ na immunologię jest przedmiotem intensywnych badań, które wykazują, że witamina D ma istotne znaczenie w modulowaniu odpowiedzi immunologicznej, zarówno wrodzonej, jak i nabytej. Wpływa na aktywność limfocytów T (promując różnicowanie limfocytów T pomocniczych Th2 oraz hamując rozwój limfocytów T pomocniczych Th1), utrzymując równowagę immunologiczną, co ma znaczenie w kontekście chorób autoimmunologicznych [Zawół i in. 2024]. Jej niedobór może prowadzić do zaburzeń odpowiedzi immunologicznej, zwiększając ryzyko chorób autoimmunologicznych, takich jak stwardnienie rozsiane, reumatoidalne zapalenie stawów czy cukrzyca typu 1. W literaturze naukowej wykazano również związek pomiędzy niskim stężeniem witaminy D a cięższym przebiegiem choroby Hashimoto oraz reumatoidalnego zapalenia stawów. Jednocześnie istnieją doniesienia wskazujące, że suplementacja witaminy D może łagodzić objawy kliniczne tych schorzeń, zmniejszając nasilenie stanu zapalnego i poprawiając jakość życia pacjentów [Soda i in. 2024]. Działanie witaminy D na makrofagi pozwala na skuteczniejszą obronę organizmu przed patogenami. Dodatkowo wspomaga ona produkcję peptydów przeciwdrobnoustrojowych, takich jak katelicyna i defensyna, które mają zdolność do eliminacji patogenów, w tym bakterii, wirusów i grzybów. Istnieją także dane sugerujące, że suplementacja witaminą D może zmniejszać częstość występowania infekcji górnych dróg oddechowych, zwłaszcza u osób z niedoborem tej witaminy. Dlatego niskie stężenia witaminy D korelują z wyższą podatnością na infekcje, zwłaszcza u osób z osłabionym układem odpornościowym, np. u pacjentów po przeszczepieniu nerki [Aparicio-Minguijón i Fernández-Ruiz 2025]. Utrzymanie odpowiedniego poziomu witaminy D jest zatem istotne dla zdrowia immunologicznego, a jej niedobór może prowadzić do zwiększonej podatności na infekcje oraz rozwój chorób autoimmunologicznych. W związku z tym zaleca się monitorowanie poziomu witaminy D oraz, w razie potrzeby, jej suplementację, szczególnie u osób z grup ryzyka, w tym osób starszych, przewlekle chorych oraz przebywających w warunkach ograniczonej ekspozycji na słońce. Zalecenia dietetyczne wskazują, że w populacji ogólnej dzienne zapotrzebowanie na witaminę D wynosi: 800–2000 IU (jednostek międzynarodowych, ang. international unit; 25–50 µg) dla osób dorosłych oraz 2000–4000 IU (50–100 µg) dla osób powyżej 75. roku życia, szczególnie w okresie jesienno-zimowym.

U osób z niedoborami może być konieczna suplementacja w dawkach wyższych, indywidualnie dostosowanych na podstawie poziomu 25-hydroksy witaminy D (25(OH)D) w surowicy [Kuciński i in. 2023]. Źródła dietetyczne witaminy D, takie jak tłuste ryby (łosoś, makrela, sardynki), tran, wątroba, żółtka jaja i produkty mleczne wzbogacane w witaminę D, powinny być regularnie uwzględniane w diecie. W praktyce, ze względu na ograniczoną zawartość tej witaminy w żywności, niezbędna okazuje się suplementacja dla większości populacji w strefie klimatu umiarkowanego. Jednak mimo opisanych zależności niektóre badania wykazują niespójności dotyczące skuteczności witaminy D w zapobieganiu infekcjom i leczeniu chorób autoimmunologicznych. Wskazuje to na konieczność dalszych badań, aby lepiej określić jej rolę i ustalić optymalne wytyczne dotyczące suplementacji [Biłogras i in. 2024].

Witamina C

Ogrywa fundamentalną rolę we wzmacnianiu układu odpornościowego, pełniąc funkcję niezbędnego mikroskładnika oraz silnego przeciwutleniacza. Neutralizuje wolne rodniki, które mogą uszkadzać komórki i tkanki. Ograniczenie stresu oksydacyjnego jest istotne dla zachowania integralności komórek odpornościowych, szczególnie limfocytów i makrofagów, kluczowych w odpowiedzi immunologicznej. Witamina C wpływa także na produkcję i regulację cytokin, będących głównymi mediatorami w komunikacji między komórkami układu odpornościowego. Przyczynia się do zrównoważenia odpowiedzi zapalnej i czynników prozapalnych, zapobiegając nadmiernej reakcji immunologicznej [Härtel i in. 2004]. Suplementacja witaminy C zwiększa zdolności fagocytarne komórek, takich jak makrofagi i neutrofile, co wspomaga eliminację patogenów. Jest to realizowane przez zwiększenie aktywności enzymów, które są istotne w procesie fagocytozy [Carr i Maggini 2017, Härtel i in. 2004]. Ponadto witamina C wspiera regenerację komórek i tkanek, w tym skóry i błon śluzowych, stanowiących pierwszą linię obrony przed patogenami (hamowanie przenikania patogenów do organizmu). Niezbędna jest do syntezy kolagenu, który jest ważny dla integralności tkanek, w tym tkanki łącznej, co wpływa na zdrowie narządów układu odpornościowego [DePhillipo i in. 2018]. Niedobór tej witaminy osłabia odpowiedź immunologiczną, a jej suplementacja istotnie poprawia działanie układu odpornościowego. Zwiększenie dawki witaminy C jest zalecane np. osobom starszym i w okresach infekcji [Agrawal 2023]. Spożywanie witaminy C jest także polecane w okresie szczepień oraz procesie rehabilitacji układu odpornościowego po zabiegach medycznych, ponieważ wspiera produkcję białek związanych z odpornością oraz zwiększa aktywność białych krwinek. Ma ona również istotny wpływ na modulowanie odporności przez redukcję stanów zapalnych oraz wspieranie różnorodnych komórek odpornościowych. Co więcej, witamina C jest niezbędna do dojrzewania i prawidłowego funkcjonowania układu odpornościowego, ze szczególnym uwzględnieniem rozwoju limfocytów T oraz aktywności komórek NK (ang. natural killer) – wspiera proliferację i funkcję różnych typów leukocytów, w tym limfocytów T i B oraz makrofagów, prawdopodobnie ze względu na jej działanie regulujące geny [Carr i Maggini 2017, Urbalejo-Ceniceros i in. 2022]. Niedobór witaminy C powoduje upośledzenie odporności i większą podatność na infekcje. Z kolei infekcje znacząco wpływają na poziom witaminy C ze

względem na zwiększony stan zapalny i zapotrzebowanie metaboliczne. Wykazano, że niedobór witaminy C u pacjentów po przeszczepieniach może zwiększać ryzyko zachorowań oraz śmiertelności [Morante-Palacios i in. 2022]. Zatem aby skutecznie przeciwdziałać infekcjom, istotne jest dostarczanie odpowiednich ilości witaminy C w diecie, co pozwala na utrzymanie jej optymalnego poziomu w osoczu. Suplementacja witaminą C może zarówno zapobiegać infekcjom układu oddechowego i ogólnoustrojowym, jak i wspierać ich leczenie. Do celów profilaktycznych utrzymanie prawidłowego stężenia witaminy C w komórkach i tkankach wymaga jej codziennego spożycia w zakresie 100–200 mg. Zapewnia to optymalną homeostazę antyoksydacyjną i wspiera funkcje immunologiczne. W przypadku już rozwiniętych infekcji zapotrzebowanie na witaminę C istotnie wzrasta, co wynika ze zwiększonej aktywacji odpowiedzi zapalnej oraz intensyfikacji procesów metabolicznych. W takich stanach terapeutyczne zastosowanie wymaga podawania znacznie wyższych, gramowych dawek witaminy C [Carr i Maggini 2017]. Zgodnie z najnowszymi *Normami żywienia dla populacji Polski* [Rychlik i in. (red.) 2024] zalecane dzienne spożycie witaminy C dla dorosłych wynosi 75 mg dla kobiet oraz 90 mg dla mężczyzn, a dla osób powyżej 65. roku życia zaleca się zwiększenie spożycia do 110 mg na dzień. Kobiety w ciąży powinny spożywać 105 mg witaminy C na dzień, a kobiety karmiące piersią 120 mg. Ze względu na zwiększone zapotrzebowanie w okresach infekcji, rekonwalescencji oraz u osób starszych zaleca się odpowiednią korektę spożycia witaminy C, zarówno z diety, jak i suplementów. Nie należy przekraczać górnej granicy bezpiecznego spożycia, która wynosi 2000 mg na dobę dla dorosłych. Do bogatych źródeł witaminy C w diecie należą przede wszystkim warzywa i owoce, takie jak papryka, brokuł, kalafior, szpinak, brokuły, cytrusy, kiwi, truskawki oraz czarna porzeczka. Regularne spożywanie tych produktów jest kluczowe dla zapobiegania niedoborom oraz wspierania prawidłowego funkcjonowania układu odpornościowego.

Kwasy omega-3

Te wielonienasycone kwasy tłuszczowe odgrywają istotną rolę w funkcjonowaniu układu immunologicznego. Do najważniejszych kwasów omega-3 zaliczają się kwas alfa-linolenowy (ALA), kwas eikozapentaenowy (EPA) oraz kwas dokozaheksaenowy (DHA). Kwasy omega-3 mają zdolność do modulacji procesów zapalnych; EPA i DHA wpływają na produkcję eikozanoidów (wytwarzane z kwasu arachidonowego odgrywają rolę w zapaleniu i regulacji funkcji limfocytów T i B), takich jak prostaglandyny [Calder 2007] i leukotrieny, oraz cytokin, które są kluczowymi mediatorami stanu zapalnego. Badania wykazały, że kwasy omega-3 zmniejszają produkcję prozapalnych eikozanoidów, co prowadzi do łagodzenia reakcji zapalnych [Calder 2017, Simopoulos 2002], przyczyniają się do powstawania mediatorów przeciwzapalnych, takich jak resolwiny oraz protektyny [Calder 2013], indukują syntezę cytokin przeciwzapalnych, np. interleukiny-10 (IL-10), oraz hamują produkcję cytokin prozapalnych, np. czynnika martwicy nowotworów α (TNF- α) i interleukiny-6 (IL-6), co prowadzi do zrównoważenia odpowiedzi immunologicznej [Kang i Weylandt 2008]. Działają mechanistycznie, zmieniając skład błon komórkowych, zakłócając trawy lipidowe, hamując aktywację jądrowego czynnika transkrypcyjnego NF kappa B (NF- κ B) oraz aktywując receptory aktywowane przez proliferatory peroksysomów γ (PPAR- γ) [Calder 2013]. Ponadto tłumią aktywację inflamasyonu

NLRP3 (ang. NOD-like receptor family, pyrin domain containing 3) przez receptory błonowe sprzężone z białkami G – GPR120 i GPR40 [Yan i in. 2013]. Badania kliniczne potwierdziły korzystne działanie kwasów omega-3 w leczeniu reumatoidalnego zapalenia stawów, chociaż dowody na ich skuteczność w kontekście choroby zapalnej jelit i astmy pozostają niejednoznaczne [Calder 2013]. Wykazano również, że suplementacja kwasami omega-3 znacząco wpływa na poprawę markerów zapalnych u osób otyłych, zwiększając poziomy resolwiny D1 oraz IL-10, a także obniżając poziom IL-6. Kwasy omega-3 jako prekursorzy lipidów bioaktywnych, takich jak resolwiny i protectyny, odgrywają rolę w procesie hamowania stanów zapalnych. Metabolity te przyczyniają się do zakończenia reakcji zapalnych i wspierają regenerację tkanek [Torres-Vanegas i in. 2024]. Suplementacja kwasów omega-3 przynosi korzyści również w przypadku leczenia innych chorób powodowanych stanem zapalnym, tj. choroby sercowo-naczyniowe, depresja oraz choroby autoimmunologiczne [Simopoulos 2002]. Aby uzyskać działanie przeciwzapalne u dorosłych, zazwyczaj konieczne jest spożycie przekraczające 2 g na dzień [Calder 2013]. Z właściwości kwasów omega-3 mogą korzystać także zdrowi sportowcy, gdyż wspomagają one kontrolowanie stanu zapalnego wywołanego wysiłkiem fizycznym, co przyczynia się do efektywniejszej regeneracji oraz poprawy wydajności [Cannataro i in. 2024]. Zalecane dzienne spożycie EPA i DHA dla dorosłych wynosi co najmniej 250 mg, co odpowiada około 1–2 porcjom tłustych ryb na tydzień. Kobiетom w ciąży i karmiącym piersią zaleca się zwiększenie spożycia do 350–450 mg EPA i DHA na dzień ze względu na ich rolę w rozwoju układu nerwowego dziecka oraz wsparcie układu odpornościowego. U osób z podwyższonym ryzykiem chorób sercowo-naczyniowych lub stanów zapalnych suplementacja EPA i DHA może być wskazana w dawkach wyższych, jednak powinna być indywidualnie dostosowana przez specjalistę. Źródłami kwasów omega-3 w diecie są przede wszystkim tłuste ryby morskie (takie jak łosoś, makrela, sardynki, śledź), oleje rybne (tran), a także niektóre algi morskie. Osobom niespożywającym ryb zaleca się stosowanie suplementów zawierających EPA i DHA, aby zapewnić ich odpowiedni poziom [Rychlik i in. (red.) 2024]. Ważne jest także utrzymanie właściwej proporcji kwasów omega-6 do omega-3 w diecie (zazwyczaj ok. 4:1, do 5:1), ponieważ nadmierne spożycie kwasów omega-6 (np. z olejów roślinnych) może sprzyjać stanom zapalnym. W praktyce zaleca się ograniczenie spożycia olejów bogatych w kwasy omega-6 oraz zwiększenie spożycia produktów bogatych w kwasy omega-3, co wspiera prawidłową funkcję układu odpornościowego.

Selen i cynk

Selen (Se) oraz cynk (Zn) to mikroelementy, które mają kluczowe znaczenie dla zdrowia człowieka, szczególnie w kontekście funkcjonowania układu immunologicznego [Hoffmann i Berry 2008, Avery i Hoffmann 2018]. Odpowiednia podaż Se jest nie tylko niezbędna do optymalnego przebiegu reakcji immunologicznych, ale również odgrywa rolę w metabolizmie hormonów tarczycy oraz ochronie komórek nerwowych [Avery i Hoffmann 2018, Genchi i in. 2023]. Selen jest ważnym składnikiem enzymów antyoksydacyjnych, takich jak peroksydaza glutationowa, które odgrywają rolę w ochronie komórek immunologicznych przed stresem oksydacyjnym. Mechanizm ten jest kluczowy dla utrzymania ich zdrowia. Z kolei Zn, również działający jako antyoksydant, chroni

komórki przed uszkodzeniami wywoływanymi przez nadmiar czynników prooksydacyjnych, co jest niezbędne dla integralności układu odpornościowego. Wpływ Zn na te kluczowe mediatory immunologiczne wynika z jego roli w podstawowych procesach komórkowych, takich jak replikacja kwasu deoksyrybonukleinowego (ang. deoxyribonucleic acid, DNA), transkrypcja kwasów rybonukleinowych (ang. ribonucleic acid, RNA), podział i aktywacja komórek. Niedobór Zn może powodować zaburzenia w procesie apoptozy, a co za tym idzie osłabiać produkcję i funkcjonalność komórek odpornościowych [Shankar i Prasad 1998]. Zarówno Se, jak i Zn mają zdolność do wspierania optymalnej funkcji limfocytów T oraz makrofagów, co umożliwia efektywną odpowiedź układu immunologicznego na patogeny. Cynk wpływa na równowagę między różnymi podtypami komórek T, takimi jak Th1 i Th2. Oba te mikroelementy są również zaangażowane w regulację produkcji cytokin, kluczowych dla komunikacji między komórkami układu odpornościowego, co zwiększa zdolność organizmu do reagowania na infekcje [Ansar 2016]. Odpowiednie stężenie Se i Zn jest kluczowe dla regulacji odpowiedzi zapalnej, co pomaga w zapobieganiu nadmiernym reakcjom immunologicznym. Niedobór Se prowadzi do zwiększonej podatności na infekcje oraz przewlekłych stanów zapalnych, wiąże się z wyższym ryzykiem śmiertelności, osłabieniem funkcji odpornościowych, pogorszeniem zdolności poznawczych oraz zaburzeniami funkcjonowania tarczycy. Jego nadmiar negatywnie wpływa na funkcje neurologiczne oraz zwiększa ryzyko wystąpienia cukrzycy typu 2 [Genchi i in. 2023]. Ponadto Se chroni przed nowotworami, chorobami sercowo-naczyniowymi oraz męską bezpłodnością, a także zmniejsza ryzyko poronień samoistnych i spowalnia progresję zakażeń ludzkim wirusem niedoboru odporności (ang. human immunodeficiency virus, HIV) [Jeżek i in. 2012]. Do bogatych źródeł Se należą orzechy brazylijskie, ryby, mięso oraz produkty zbożowe. Niska biodostępność Zn ogranicza zdolności organizmu do zwalczania infekcji, szczególnie w procesie starzenia. Suplementacja Zn w odpowiednich dawkach, do 2 miesięcy może przywrócić prawidłową odpowiedź immunologiczną, zmniejszając częstość infekcji i wydłużając czas przeżycia. Należy jednak podkreślić, że dawka Zn w diecie powinna być dostosowana do indywidualnych potrzeb i uwzględniać zróżnicowanie warunków środowiskowych, stan zdrowia oraz specyficzne wymagania dietetyczne [Ferenčík i Ebringer 2003].

Prawidłowe spożycie Se jest istotne dla utrzymania optymalnej funkcji układu odpornościowego oraz ochrony organizmu przed stresem oksydacyjnym [Rychlik i in. (red.) 2024].

Podsumowanie

Odpowiednio zbilansowana dieta odgrywa istotną rolę w modulowaniu odpowiedzi immunologicznej organizmu. Składniki odżywcze, takie jak witaminy D i C, kwasy tłuszczowe omega-3 (np. EPA i DHA) oraz mikroelementy Zn i Se wykazują właściwości immunomodulujące i przeciwzapalne. Z kolei nadmierne spożycie tłuszczów trans oraz cukrów prostych może prowadzić do przewlekłego stanu zapalnego niskiego stopnia, co osłabia funkcję układu odpornościowego. W przypadku stosowania diet eliminacyjnych lub restrykcyjnych konieczne jest monitorowanie i uzupełnianie potencjalnych niedoborów.

rów za pomocą odpowiednio dobranej suplementacji. Kształtowanie prawidłowych nawyków żywieniowych już od wczesnych lat życia stanowi kluczowy element profilaktyki zdrowotnej, zwiększający zdolność organizmu do efektywnego reagowania na infekcje.

Bibliografia

- Agrawal A., 2023. Vitamin C as a possible immunity booster. *Int. J. Sci. Res. Manag.* 11(02), 828–832, <https://doi.org/10.18535/ijssrm/v11i02.mp02>.
- Ansar S., 2016. Effect of selenium on the levels of cytokines and trace elements in toxin-mediated oxidative stress in male rats. *Biol. Trace Elem. Res.* 169(1), 129–133, <https://doi.org/10.1007/s12011-015-0403-7>.
- Aparicio-Minguijón E., Fernández-Ruiz M., 2025. Vitamin D levels and the risk of post-transplant infection: where there's smoke, is there fire? *Transpl. Infect. Dis.* 27(2), 14443, <https://doi.org/10.1111/tid.14443>.
- Avery J.C., Hoffmann P.R., 2018. Selenium, selenoproteins, and immunity. *Nutrients* 10(9), 1203, <https://doi.org/10.3390/nu10091203>.
- Biłogras J., Karamus K., Rejmak R., Borowska-Lygan M., Tomaszewski J., Strużek K., Urban W., 2024. Effect of vitamin D supplementation. *J. Educ. Health Sport* 76, 56537, <https://doi.org/10.12775/jehs.2024.76.56537>.
- Calder P.C., 2007. Immunomodulation by omega-3 fatty acids. *Prostaglandins Leukot. Essent. Fatty Acids* 77(5–6), 327–335, <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2007.10.015>.
- Calder P.C., 2017. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. *Biochem. Soc. Trans.* 45(5), 1105–1115, <https://doi.org/10.1042/BST20160474>.
- Calder P.C., 2013. Omega-3 polyunsaturated fatty acids and inflammatory processes: nutrition or pharmacology? *Br. J. Clin. Pharmacol.* 75(3), 645–662, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2125.2012.04374.x>.
- Cannataro R., Abrego-Guandique D.M., Straface N, Cione E., 2024. Omega-3 and sports: focus on inflammation. *Life* 14(10), 1315, <https://doi.org/10.3390/life14101315>.
- Carr A.C., Maggini S., 2017. Vitamin C and immune function. *Nutrients* 9(11), 1211, <https://doi.org/10.3390/nu9111211>.
- DePhillipo N.N., Aman Z.S., Kennedy M.I., Begley J.P., Moatshe G., LaPrade R.F., 2018. Efficacy of vitamin C supplementation on collagen synthesis and oxidative stress after musculoskeletal injuries: a systematic review. *Orthop. J. Sports Med.* 6(10), 2325967118804544, <https://doi.org/10.1177/2325967118804544>.
- Ferenčík M., Ebringer L., 2003. Modulatory effects of selenium and zinc on the immune system. *Folia Microbiol. (Praha)* 48(3), 417–426, <https://doi.org/10.1007/BF02931378>.
- Genchi G., Lauria G., Catalano A., Sinicropi M.S., Carocci A., 2023. Biological activity of selenium and its impact on human health. *Int. J. Mol. Sci.* 24(3), 2633, <https://doi.org/10.3390/ijms24032633>.
- Härtel C., Strunk T., Bucskey P., Schultz C., 2004. Effects of vitamin C on intracytoplasmic cytokine production in human whole blood monocytes and lymphocytes. *Cytokine* 27(4–5), 101–106, <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2004.02.004>.
- Hoffmann P.R., Berry M.J., 2008. The influence of selenium on immune responses. *Mol. Nutr. Food Res.* 52(11), 1273–1280, <https://doi.org/10.1002/mnfr.200700330>.
- Ježek P., Škarpá P., Lošák T., Hlušek J., Jůzl M., Elzner P., 2012. Selenium – an important antioxidant in crops biofortification. W: M.A. El-Missiry (red.), *Antioxidant enzyme*, IntechOpen Limited, London, 343–368, <http://dx.doi.org/10.5772/50356>.

- Kang J.X., Weyland K.H., 2008. Modulation of inflammatory cytokines by omega-3 fatty acids. W: P.J. Quinn, X. Wang (red.), *Lipids in Health and Disease*. Subcell. Biochem. 49. Springer, Dordrecht, 133–143, https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8831-5_5.
- Kuciński J., Fryska Z., Wolejko A., Semeniuk P., Burczyk R., Górna N., Łabuda A., Mazurek E., 2023. Aktualne zalecenia w Polsce dotyczące suplementacji witaminy D. *Med. Og. Nauk. Zdr.* 29(4), 277–282, <https://doi.org/10.26444/monz/176079>.
- Morante-Palacios O., Godoy-Tena G., Calafell-Segura J., Ciudad L., Martínez-Cáceres E., Sardina J.L., Ballestar E., 2022. Vitamin C triggers NF-κB-driven epigenomic reprogramming and enhanced immunogenic responses of dendritic cells. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2022.05.26.493381>.
- Rychlik E., Stoś K., Woźniak A., Mojska H. (red.), 2024. Normy żywienia dla populacji Polski, <https://ncez.pzh.gov.pl/wp-content/uploads/2025/02/Normy-zywienia-dla-populacji-Polski-07-2025-2.pdf> [dostęp: 21.07.2025].
- Shankar A.H., Prasad A.S., 1998. Zinc and immune function: the biological basis of altered resistance to infection. *Am. J. Clin. Nutr.* 68(2), 447S–463S, <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.2.447S>.
- Simopoulos A.P., 2002. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *J. Am. Coll. Nutr.* 21(6), 495–505, <https://doi.org/10.1080/07315724.2002.10719248>.
- Soda M., Priante C., Pesce C., De Maio G., Lombardo M., 2024. The impact of vitamin D on immune function and its role in Hashimoto's thyroiditis: a narrative review. *Life* 14(6), 771, <https://doi.org/10.3390/life14060771>.
- Torres-Vanegas J., Rodríguez-Echevarría R., Campos-Pérez W., Rodríguez-Reyes C., Reyes-Pérez S., Pérez-Robles M., Erika Martínez-López E., 2024. Effect of omega 3 fatty acids on inflammation resolution in patients with obesity: a randomized placebo-controlled trial. *Preprints.org*, <https://doi.org/10.20944/preprints202406.2041.v1>.
- Urbalejo-Ceniceros V.I., Rocha-González H.I., Acosta-Maldonado B.L., Valero-Saldaña L.M., Hernández-Alcantara A.E., Pérez-Camargo D.A., 2022. Effect of vitamin C on immune reconstitution after bone marrow transplantation. *Int. J. Clin. Pharmacol. Ther.* 60(9), 384–391, <https://doi.org/10.5414/CP204182>.
- Yan Y., Jiang W., Spinetti T., Tardivel A., Castillo R., Bourquin C., Guarda G., Tian Z., Tschopp J., Zhou R., 2013. Omega-3 fatty acids prevent inflammation and metabolic disorder through inhibition of NLRP3 inflammasome activation. *Immunity* 38(6), 1154–1163, <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2013.05.015>.
- Zawół M., Zimonczyk M., Pawlik W., Nojek P., Nowotarska A., Błaszczyński G., 2024. The role of vitamin D in the prevention and treatment of autoimmune diseases – a literature review and analysis of research. *J. Educ. Health Sport* 75, 56210, <http://dx.doi.org/10.12775/JEHS.2024.75.56210>.

Wpływ różnych modeli żywieniowych na odporność organizmu

The influence of different nutritional models on the immunity of the human body

Wstęp

Układ odpornościowy człowieka odgrywa kluczową rolę w ochronie przed patogenami, wspierając utrzymanie zdrowia i zapobiegając rozwojowi wielu chorób. Jego prawidłowe funkcjonowanie zależy od licznych czynników, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych, w tym stylu życia, poziomu stresu, aktywności fizycznej oraz jakości diety. W szczególności sposób odżywiania – jako jeden z najważniejszych modyfikowalnych elementów stylu życia – znacząco wspiera lub zaburza mechanizmy obronne organizmu. Modele żywieniowe, takie jak dieta śródziemnomorska, wegetariańska i wegańska, wysokobiałkowa czy niskowęglowodanowa, różnią się pod względem zawartości składników odżywczych i mają inny wpływ na funkcjonowanie układu odpornościowego. Coraz więcej badań wskazuje na zależność między strukturą diety a zdolnością organizmu do reagowania na czynniki chorobotwórcze, w tym również przewlekły stan zapalny i odporność na infekcje.

Celem niniejszej pracy była analiza wpływu wybranych modeli żywieniowych na funkcjonowanie układu immunologicznego, ze szczególnym uwzględnieniem aktywności komórek odpornościowych, produkcji przeciwciał oraz modulacji reakcji zapalnych. Zrozumienie tych zależności ma duże znaczenie nie tylko w kontekście prewencji chorób zakaźnych i przewlekłych, ale również jako element wspomagający procesy regeneracyjne organizmu oraz strategię promującą zdrowie populacyjne.

Układ odpornościowy – podstawowe informacje

Układ odpornościowy stanowi złożoną sieć komórek oraz białek, odgrywających kluczową rolę w obronie organizmu przed patogenami oraz utrzymaniu homeostazy. Składa się on z narządów limfoidalnych, takich jak grasica, śledziona oraz węzły chłonne,

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu Człowieka, Studenckie Koło Zarządzania Jakością i Bezpieczeństwa Żywności, kusmierczyx@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Zwierzęcego

które zawierają limfocyty, w tym komórki T oraz komórki B, odpowiedzialne za odporność swoistą. Dodatkowo w skład układu odpornościowego wchodzi układ siateczkowo-śródbłonkowy, zbudowany z komórek fagocytujących, które zapewniają nieswoistą odporność, pochłaniając patogeny oraz resztki komórkowe. Rozróżnia się dwa typy odporności – wrodzoną oraz nabytą, z których każda charakteryzuje się odrębną strukturą i funkcjami. Zrozumienie tego rozróżnienia jest niezbędne, ponieważ ich współpraca warunkuje prawidłowe działanie systemu odpornościowego [Mugo 2024].

Główną funkcją układu odpornościowego jest identyfikacja oraz eliminacja patogenów po odróżnieniu cząsteczek własnych od obcych. Proces ten obejmuje koordynację działania odporności wrodzonej i nabytej. Oprócz funkcji obronnych układ odpornościowy odgrywa istotną rolę w procesie naprawy tkanek i regulacji procesów metabolicznych oraz współdziała m.in. z układem nerwowym i sercowo-naczyniowym, w celu utrzymania homeostazy organizmu [Sattler 2017]. Ponadto głównym zadaniem układu odpornościowego jest kontrolowanie stanu zapalnego, który jest kluczowy w regeneracji. Choć stan zapalny jest niezbędny m.in. w procesie gojenia ran, jego dysfunkcje mogą prowadzić do rozwoju różnych chorób, w tym autoimmunologicznych [Eming i in. 2009]. Oba typy odporności współpracują, chroniąc organizm przed patogenami. Wrodzona odporność zapewnia szybką, niespecyficzną obronę dzięki receptorom rozpoznającym wzorce, podczas gdy odporność nabyta oferuje specyficzne, długotrwałe reakcje komórek B i T oraz przeciwciał. Synergiczna interakcja komórek B i T odgrywa kluczową rolę we wzmacnianiu odpowiedzi immunologicznych przeciwko patogenom oraz w regulacji procesów immunologicznych. Komórki B działają jako wydajne komórki prezentujące antygen, przetwarzając nienaruszone antygeny mielinowe i aktywując komórki T [Weber i Hemmer 2010]. Współpraca ta jest niezbędna do produkcji przeciwciał głównie w odpowiedzi na patogeny mikrobiologiczne. Odporność wrodzona jest pierwszą linią obrony organizmu, obejmującą bariery fizyczne (tj. skóra, błony śluzowe), a także komórki odpornościowe (np. fagocyty). Wyróżnia się szybką reakcję na patogeny, opierającą się na takich mechanizmach, jak: wywoływanie stanu zapalnego, aktywacja receptorów Toll-podobnych (ang. toll-like receptors, TLR) oraz cytokin z rodziny interleukiny-1 (IL-1). Jest ona kluczowa w natychmiastowej obronie i sygnalizacji odporności nabytej. System ten wykazuje skuteczność w obliczu nowych patogenów dzięki swojej zdolności do szybkiej reakcji. Chociaż zapewnia bezzwłoczną ochronę przed patogenami dzięki m.in. układowi dopełniacza, cytokinom i komórki NK (ang. natural killer), odporność wrodzona sama w sobie nie zapewnia długotrwałej ochrony [Sochocka i Błach-Olszewska 2005]. Odporności nabyta bazuje na działaniach komórek limfatycznych, które zapewniają specyficzną odpowiedź na patogeny. Limfocyty T biorą udział w odporności komórkowej, podczas gdy limfocyty B odpowiadają za odporność humoralną, produkując przeciwciała. Jest ona ściśle związana z pamięcią immunologiczną, co umożliwia efektywniejszą reakcję przy ponownym kontakcie z tym samym patogenem. W początkowych fazach jest mniej skuteczna w walce z nowymi patogenami, ale dzięki mechanizmom pamięci immunologicznej zyskuje wysoką efektywność w przypadku ponownych zakażeń. Przejście od odporności wrodzonej do nabytej stanowi kluczowy element w procesie wygaszania stanu zapalnego oraz aktywacji specyficznej odpowiedzi immunologicznej. Istotną rolę w tym procesie odgrywają cytokiny, takie jak interleukina-6 (IL-6). Wpływają one zarówno na

zakończenie reakcji wrodzonej, jak i rozwój odporności nabytej. Odporność wrodzona, która jest starsza ewolucyjnie niż odporność nabyta, nie tylko zapewnia natychmiastową obronę organizmu, ale także odgrywa istotną rolę w kształtowaniu odporności nabytej [Sochocka i Błach-Olszewska 2005]. Wpływa na to, na które antygeny reaguje układ adaptacyjny i jak rozwija się ta odpowiedź, co może otworzyć nowe podejścia terapeutyczne w leczeniu chorób zakaźnych i autoimmunologicznych [Fearon i Locksley 1996].

Odporność jest kształtowana przez skomplikowaną interakcję czynników genetycznych oraz środowiskowych. Genetyka odgrywa kluczową rolę w regulacji parametrów komórek układu odpornościowego, szczególnie komórek wrodzonych, które podlegają silniejszej kontroli zmienności genetycznej niż komórki adaptacyjne. Wariacje w liczbie komórek T są w większym stopniu związane z dziedzicznością, podczas gdy liczba komórek B zależy głównie od czynników środowiskowych. Środowisko, szczególnie na wczesnych etapach życia, ma istotny wpływ na rozwój oraz funkcjonowanie układu odpornościowego [MacGillivray i Kollmann 2014]. Codzienna dieta (bezpośrednio lub pośrednio) wpływa na aktywność układu immunologicznego, infekcje oraz mikrobiotę. Na przykład obecność witaminy A w spożywanym posiłku pozytywnie kształtuje odpowiedzi immunologiczne, przyczyniając się do lepszej odporności organizmu [Rölle i Brodin 2016]. Stan zdrowia psychicznego, poziom stresu czy styl życia, obejmujący palenie tytoniu, spożywanie alkoholu, niski poziom aktywności fizycznej oraz złą jakość snu, także wywierają wpływ na funkcjonowanie układu odpornościowego [Thakur i in. 2021].

Wpływ różnych modeli żywieniowych na odporność

Dieta śródziemnomorska

Ma swoje korzenie w historii i kulturze regionu Morza Śródziemnego. Jest uznawana za jeden z najkorzystniejszych wzorców żywieniowych, szczególnie w zakresie prewencji chorób sercowo-naczyniowych (skutecznie redukuje poziom biomarkerów zapalnych w organizmie, które są powiązane z miażdżycą [Mena i in. 2009]) oraz kontrowalowania masy ciała. Badania wskazują, że regularne spożywanie jej kluczowych składników, takich jak warzywa, owoce, pełnoziarniste produkty zbożowe, rośliny strączkowe, oliwa z oliwek oraz ryby, wiąże się z niższym ryzykiem wystąpienia chorób serca, w tym choroby niedokrwiennej serca, oraz z mniejszą śmiertelnością z tego powodu.

Dieta śródziemnomorska wspomaga funkcjonowanie układu odpornościowego i zmniejsza stany zapalne, co przyczynia się do poprawy ogólnego stanu zdrowia i ochrony przed przewlekłymi chorobami zapalnymi [Mazzocchi i in. 2019]. Badania nad właściwościami antyoksydacyjnymi tej diety wskazują, że jej składniki dostarczają przeciwutleniaczy w sposób bardziej efektywny niż suplementy diety, co pomaga w redukcji stresu oksydacyjnego [Górska i in. 2021].

Dieta zachodnia

Dieta zachodnia, charakteryzująca się wysoką zawartością przetworzonych cukrów, czerwonego mięsa oraz tłuszczów nasyconych, wiąże się z przewlekłym stanem zapalnym o niskim nasileniu, który negatywnie wpływa na funkcjonowanie układu odpornościowego i zwiększa podatność na infekcje oraz choroby przewlekłe. Regularne spożywanie tych składników osłabia aktywność komórek odpornościowych i zaburza mechanizmy obronne organizmu [Prissy 2024]. Ponadto dieta zachodnia prowadzi do niekorzystnych zmian w mikrobiocie jelitowej, co skutkuje dysfunkcją bariery jelitowej oraz zwiększoną jej przepuszczalnością. W efekcie szkodliwe metabolity bakteryjne mogą przedostawać się do krwiobiegu, co sprzyja rozwojowi przewlekłego stanu zapalnego o podłożu metabolicznym (zw. metaflamacją) oraz chorób niezakaźnych i przewlekłych [Severino i in. 2024], w tym niektórych nowotworów, chorób alergicznych oraz autoimmunologicznych [Myles 2014], co wiąże się z podwyższonym ryzykiem rozwoju nieswoistych chorób zapalnych jelit (NChZJ) czy astmy – szczególnie u osób predysponowanych genetycznie [Statovci i in. 2017]. Nasilenie stanów zapalnych zarówno w obrębie jelit, jak i poza nimi wpływa na funkcjonowanie limfocytów T CD4+ oraz zwiększa podatność organizmu na infekcje, a także choroby autoimmunologiczne [Siracusa i in. 2019].

Dieta wegetariańska i wegańska

Badania sugerują, że diety roślinne, w tym zarówno wegetariańska, jak i wegańska, mają korzystny wpływ na zdrowie oraz wykazują działanie terapeutyczne w przypadku zaburzeń metabolicznych, takich jak insulinooporność [Cader i Lesiów 2021]. Charakteryzują się wysoką zawartością błonnika i niską ilością tłuszczów nasyconych, co może wspierać prawidłowy metabolizm węglowodanów. Jeśli są odpowiednio zbilansowane, dostarczają wszystkich niezbędnych składników odżywczych. Niemniej jednak, według wielu specjalistów, ściśle przestrzegana dieta wegańska może prowadzić do niedoborów kluczowych składników odżywczych, co może wpłynąć negatywnie na funkcjonowanie układu odpornościowego. Dlatego też diety te wymagają dokładnego planowania oraz stosowania suplementacji [Szczuko i in. 2018]. Odpowiednio zbilansowana dieta roślinna dostarcza licznych przeciwutleniaczy, takich jak polifenole, witaminy C i E oraz karotenoidy, które wspierają odporność, neutralizując wolne rodniki i redukując stres oksydacyjny. Związki bioaktywne obecne w produktach roślinnych również korzystnie wpływają na mikrobiom jelitowy, sprzyjając aktywacji cytokin przeciwzapalnych, np. interleukiny-10 (IL-10). Należy jednak pamiętać, że nadmiar kwasów tłuszczowych omega-6 stymuluje produkcję cytokin prozapalnych (IL-1, IL-6), a obecność kwasu fitynowego obniża biodostępność minerałów, takich jak żelazo, cynk czy wapń, co również może osłabiać odpowiedź immunologiczną.

Coraz większa popularność diety wegetariańskiej jest postrzegana nie tylko jako wybór zdrowotny, ale także jako część ekologicznego stylu życia, który promuje ograniczenie zużycia zasobów naturalnych. Trend ten odzwierciedla duże zmiany społeczne, w których coraz większą wagę przykładą się do zrównoważonego rozwoju oraz odpowiedzialnego wykorzystywania zasobów naturalnych [Mroczek i in. 2024].

Posty i ich wpływ na układ odpornościowy

Post wpływa na układ odpornościowy w różnorodny sposób. Przykładowo post stosowany w okresie ramadanu prowadzi do tymczasowych zmian w funkcjonowaniu systemu odpornościowego, które zazwyczaj ustępują po zakończeniu postu [Adawi i in. 2017]. Z kolei post przerywany (ang. intermittent fasting, IF) oddziałuje na szlaki metaboliczne powiązane z układem odpornościowym, wpływając na metabolizm lipidów, hormony, rytm dobowy oraz mikrobiotę jelitową [Ma 2024].

Dostępne badania sugerują, że post wspiera niektóre funkcje odpornościowe, takie jak zwiększona aktywność bakteriofagów monocytych, cytotoxiczna aktywność komórek NK oraz wyższe stężenie immunoglobulin w surowicy [Wing i in. 1983]. Ponadto wiąże się ze zmniejszeniem stanu zapalnego, poprawą procesu autofagii oraz zwiększoną ochroną przed infekcjami, nowotworami i chorobami autoimmunologicznymi [Mackieh i in. 2024]. Warto jednak zauważyć, że niektóre parametry odpornościowe, takie jak reakcje blastogeniczne limfocytów, mogą wykazywać pewien spadek podczas postu [Wing i in. 1983].

Podsumowując, post i ograniczenie kalorii mają zróżnicowany wpływ na funkcjonowanie układu odpornościowego. Przynoszą zarówno korzyści, jak i straty dla mechanizmów obronnych organizmu. Mogą łagodzić zmiany w układzie odpornościowym związane z procesami starzenia [Tizazu 2024].

Adaptogeny jako element diety wspierający układ immunologiczny

Choć adaptogeny są zwykle klasyfikowane jako roślinne substancje o działaniu wspomagającym odporność, coraz częściej stają się także składnikami diety w formie naparów, ekstraktów roślinnych, suplementów oraz funkcjonalnych produktów spożywczych. Stąd też zasadne jest ich uwzględnienie w kontekście żywienia i jego wpływu na odporność. Badania wykazują, że adaptogeny działają neuroprotektoryjnie, przeciwdrożdżycy, przeciwlękowo oraz stymulują ośrodkowy układ nerwowy [Panossian i Wikman 2010]. W kontekście diety adaptogeny – takie jak ashwagandha, różeniec górski, żeń-szeń czy eleuterokok kolczasty – są spożywane jako składniki wspomagające równowagę organizmu i mogą być częścią codziennego planu żywieniowego. Ich wpływ na układ immunologiczny wiąże się z modulacją odpowiedzi odpornościowej przez wspieranie odporności nieswoistej i ograniczanie reakcji zapalnych. Zawarte w diecie adaptogeny wpływają na zasoby ochronne organizmu, w tym na układ immunologiczny, zwiększając jego odporność na zaburzenia wywołane stresem i wspierając procesy homeostazy [Ray i in. 2021]. Wykazują również potencjał w profilaktyce i leczeniu infekcji wirusowych dróg oddechowych – wpływają na modulację odporności wrodzonej i nabytej, przejawiając działanie przeciwzapalne, wspomagające procesy detoksykacji oraz mające bezpośrednie działanie przeciwwirusowe [Panossian i Brendler 2020]. Włączenie adaptogenów do diety (szczególnie w populacjach narażonych na przewlekły stres lub leczenie onkologiczne) stanowi element wspierający odporność, zwłaszcza w połączeniu z odpowiednim planem żywieniowym. Dzięki wpływowi na procesy genetyczne, białkowe i metaboliczne wzmacniają one odpowiedź immunologiczną, chronią organizm przed

stressem oksydacyjnym i mogą łagodzić skutki uboczne chemioterapii [Biczak i in. 2024]. Mimo że adaptogeny nie stanowią tradycyjnego modelu diety, ich obecność w nowoczesnych planach żywieniowych oraz suplementacji żywieniowej uprawnia do ich omówienia w kontekście wpływu diety na odporność.

Podsumowanie

Analiza przedstawionych danych wskazuje, że zachowanie odpowiedniej równowagi składników odżywczych w diecie odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu prawidłowej odpowiedzi immunologicznej organizmu. Zależność między jakością diety a funkcjonowaniem układu odpornościowego ma duże znaczenie zarówno w kontekście profilaktyki chorób przewlekłych, jak i wspomagania procesów regeneracyjnych po przebytych infekcjach lub zaburzeniach zdrowotnych. Właściwie skomponowany model żywieniowy może zatem pełnić funkcję istotnego narzędzia wspierającego utrzymanie zdrowia oraz poprawiającego ogólną jakość życia.

Bibliografia

- Adawi M., Watad A., Brown S., Aazza K., Aazza H., Zouhir M., Sharif K., Ghanayem K., Farah R., Mahagna H., Fiodoro S., Sukkar S.G., Bragazzi N.L., Mahroum N., 2017. Ramadan fasting exerts immunomodulatory effects: insights from a systematic review. *Front. Immunol.* 8, 1144, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.01144>.
- Biczak E., Biegańska O., Przywara G., Suchańska K., Gadzański K., Kulbacka J., 2024. Adaptogeny jako adiuwanty w leczeniu nowotworów: poszukiwanie synergii z konwencjonalnymi terapiami. *Farm. Pol.* 80(3), 173–187, <http://dx.doi.org/10.32383/farmpol/191383>.
- Cader P., Lesiów T., 2021. Weganizm i wegetarianizm jako diety we współczesnym społeczeństwie konsumpcyjnym. *Eng. Sci. Technol.* 1(37), 9–33, <http://dx.doi.org/10.15611/nit.2020.37.01>
- Eming S.A., Hammerschmidt M., Krieg T.M., Roers A., 2009. Interrelation of immunity and tissue repair or regeneration. *Semin. Cell Dev. Biol.* 20(5), 517–527, <https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2009.04.009>.
- Fearon D.T., Locksley R.M., 1996. The instructive role of innate immunity in the acquired immune response. *Science* 272 (5258), 50–54, <https://doi.org/10.1126/science.272.5258.50>.
- Górska P., Górna I., Przysławski J., 2021. Mediterranean diet and oxidative stress. *Nutr. Food Sci.* 51(4), 677–689, <https://doi.org/10.1108/NFS-07-2020-0264>.
- Ma R.X., 2024. A detective story of intermittent fasting effect on immunity. *Immunology* 173(2), 227–247, <https://doi.org/10.1111/imm.13829>.
- MacGillivray D.M., Kollmann T.R., 2014. The role of environmental factors in modulating immune responses in early life. *Front. Immunol.* 5, 434, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00434>.
- Mackieh R., Al-Bakkar N., Kfoury M., Okdeh N., Pietra H., Roufayel R., Legros C., Fajloun Z., Sabatier J.M., 2024. Unlocking the benefits of fasting: a review of its impact on various biological systems and human health. *Curr. Med. Chem.* 31(14), 1781–1803, <https://doi.org/10.2174/0109298673275492231121062033>.
- Mazzocchi A., Leone L., Agostoni C., Pali-Schöl I., 2019. The secrets of the mediterranean diet. Does [only] olive oil matter? *Nutrients* 11(12), 2941, <https://doi.org/10.3390/nu11122941>.

- Mena M.P., Sacanella E., Vazquez-Agell M., Morales M., Fitó M., Escoda R., Serrano-Martínez M., Salas-Salvadó J., Benages N., Casas R., Lamuela-Raventós R.M., Masanes F., Ros E., Estruch R., 2009. Inhibition of circulating immune cell activation: a molecular anti-inflammatory effect of the mediterranean diet. *Am. J. Clin. Nutr.* 89(1), 248–256, <https://doi.org/10.3945/ajcn.2008.26094>.
- Mroczek K., Janda D., Kot A., Mroczek J.R., 2024. Wegetarianizm jako alternatywny sposób odżywiania w kontekście retardacji przekształcania zasobów. *Pol. J. Sust. Dev.* 28(1), 137–144, <http://dx.doi.org/10.15584/pjsd.2024.28.1.14>.
- Mugo M., 2024. Human immune system, its levels, and disorders in the context of HIV/AIDS: a comprehensive review. *Res. Invent. J. Public Health Pharm.* 3(3), 56–60, <https://doi.org/10.59298/RIJPP/2024/335660>.
- Myles I.A., 2014. Fast food fever: reviewing the impacts of the Western diet on immunity. *Nutr. J.* 13, 61, <http://dx.doi.org/10.1186/1475-2891-13-61>.
- Panossian A., Brendler T., 2020. The role of adaptogens in prophylaxis and treatment of viral respiratory infections. *Pharmaceuticals* 13(9), 236, <http://dx.doi.org/10.3390/ph13090236>.
- Panossian A., Wikman G., 2010. Effects of adaptogens on the central nervous system and the molecular mechanisms associated with their stress-protective activity. *Pharmaceuticals* 3(1), 188–224, <https://doi.org/10.3390/ph3010188>.
- Prissy A., 2024. The impact of diet and nutrition on immune function: implications for health and disease. *Idosr J. Sci. Technol.* 10(2), 18–24, <https://doi.org/10.59298/idosr/jst/24/102.182400>.
- Ray A., Gulati K., Rehman S., Rai N., Anand R., 2021. Role of nutraceuticals as adaptogens. W: Gupta R.C., Lall R., Srivastava A.B.T.N. (red.), *Nutraceuticals*. Wyd. II, Academic Press, Cambridge, 229–244, <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-821038-3.00016-1>.
- Rölle A., Brodin P., 2016. Immune adaptation to environmental influence: the case of NK cells and HCMV. *Trends Immunol.* 37(3), 233–243, <https://doi.org/10.1016/j.it.2016.01.005>.
- Sattler S., 2017. The role of the immune system beyond the fight against infection. W: Sattler S., Kennedy-Lydon T. (red.), *The immunology of cardiovascular homeostasis and pathology*. Springer, Cham, 3–14, https://doi.org/10.1007/978-3-319-57613-8_1.
- Severino A., Tohumcu E., Tamai L., Dargenio P., Porcari S., Rondinella D., Venturini I., Maida M., Gasbarrini A., Cammarota G., Ianaro G., 2024. The microbiome-driven impact of western diet in the development of noncommunicable chronic disorders. *Best Pract. Res. Clin. Gastroenterol.* 72, 11123, <https://doi.org/10.1016/j.bpg.2024.101923>.
- Siracusa F., Schaltenberg N., Villablanca E.J., Huber S., Gagliani N., 2019. Dietary habits and intestinal immunity: from food intake to CD4⁺ T_Hcells. *Front. Immunol.* 9, 3177, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.03177>.
- Sochocka M., Błach-Olszewska Z., 2005. Mechanizmy wrodzonej odporności. *Postępy Hig. Med. Dosw.* (online) 59, 250–258.
- Statovci D., Aguilera M., MacSharry J., Melgar S., 2017. The impact of western diet and nutrients on the microbiota and immune response at mucosal interfaces. *Front. Immunol.* 8, 838, <https://doi.org/10.3389/fimmu.2017.00838>.
- Szczuko M., Komorniak N., Hołowko J., Kinowska K., Jasińska A., Kowalska K., 2018. Zmiana zawartości składników odżywczych, cholesterolu i błonnika w dietach eliminujących produkty pochodzenia zwierzęcego. Część I – makroskładniki. *Pomer. J. Life Sci.* 64(3), 94–104, <http://dx.doi.org/10.21164/pomjlifesci.451>.
- Thakur R., Naik R., Mythrey R.C., Bhat S., 2021. Ayurveda perspectives and research updates on factors influencing the immunity: a review. *J. Indian Syst. Med.* 9(1), 21–27, https://doi.org/10.4103/JISM.JISM_3_21.

- Tizazu A.M., 2024. Fasting and calorie restriction modulate age-associated immunosenescence and inflammaging. *Aging Med.* 7(4), 499–509, <https://doi.org/10.1002/agm2.12342>.
- Weber M.S., Hemmer B., 2010. Cooperation of B cells and T cells in the pathogenesis of multiple sclerosis. *Results Probl. Cell Differ.* 51, 115–126, https://doi.org/10.1007/400_2009_21.
- Wing E.J., Stanko R.T., Winkelstein A., Adibi S.A., 1983. Fasting-enhanced immune effector mechanisms in obese subjects. *Am. J. Med.* 75(1), 91–96, [https://doi.org/10.1016/0002-9343\(83\)91172-5](https://doi.org/10.1016/0002-9343(83)91172-5).

Edukacja żywieniowa w zakresie racjonalnego stosowania suplementów diety

Nutritional education on the rational use of dietary supplements

Wstęp

Z roku na rok w Polsce można obserwować rosnące zainteresowanie suplementami diety. Duża dostępność oraz wszechobecne reklamy zachęcają konsumentów do spożycia tego typu produktów. Coraz więcej osób przyjmuje je w nadziei na lepsze samopoczucie i zdrowie. Często jednak brak odpowiedniej wiedzy czy wskazań sprawia, że konsumenci nie zdają sobie sprawy z zagrożeń, wynikających z nieuzasadnionego lub nadmiernego spożycia suplementów diety. Stąd też edukacja żywieniowa powinna obejmować wskazanie zarówno pozytywnych, jak i negatywnych aspektów związanych z suplementacją, a tym samym w uzasadnionych sytuacjach pomagać w wyborze suplementu odpowiedniego do stanu fizjologicznego czy wieku. Konsumenci muszą być świadomi różnic pomiędzy suplementami diety a lekami oraz znaczenia odpowiednio zbilansowanej diety jako fundamentu zdrowego stylu życia [Tyszczyk i in. 2023].

W sytuacji zwiększonego zapotrzebowania organizmu suplementy diety mogą uzupełniać niedobory składników odżywczych. Ich stosowanie powinno być jednak dostosowane indywidualnie do potrzeb organizmu, gdyż odnotowano liczne przypadki działań niepożądanych, a w literaturze naukowej opisano również skrajne przypadki prowadzące do zgonów [Feldman 2025].

Celem pracy było przedstawienie korzyści oraz zagrożeń związanych ze stosowaniem suplementów diety oraz omówienie znaczenia edukacji żywieniowej w stosowaniu tego typu środków spożywczych.

Charakterystyka suplementów diety

Zgodnie z Ustawą z dnia 25 sierpnia 2006 roku o bezpieczeństwie żywności i żywienia [2006] suplementy diety to produkty spożywcze zawierające składniki mineralne,

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Sekcja Oceny Jakości i Bezpieczeństwa, kwiecinskaa1@wp.pl

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych

witaminy lub inne substancje (np. ekstrakty roślinne), wykazujące efekt fizjologiczny lub odżywczy. Ich głównym celem jest uzupełnienie w organizmie niedoboru konkretnych składników, przy jednoczesnym założeniu, iż stanowią one element normalnej diety konsumenta. Nie są to zatem leki ani żadna inna forma produktów farmaceutycznych. Niektóre suplementy mogą wspierać regenerację organizmu po infekcji [Włodarczyk 2022], inne zmniejszyć ryzyko pewnych schorzeń oraz wspierać profilaktykę wielu chorób cywilizacyjnych [Sapilak 2023]. Są one często reklamowane jako środki wspomagające poprawę odporności, zwiększające sprawność fizyczną i umysłową oraz pomagające w utrzymaniu dobrego stanu zdrowia, jednak na ich opakowaniach nie mogą być zamieszczane oświadczenia sugerujące właściwości lecznicze. Należy pamiętać, iż niektóre ze składników (np. witamina D) mogą występować zarówno w formie suplementu diety, jak i leku, ale jedynie w odpowiedniej dawce jako lek wykazują właściwości lecznicze [Sapilak 2023]. Suplementy diety występują w różnych formach, takich jak tabletki, kapsułki, płyny, proszki czy żelki, co pozwala na dostosowanie sposobu ich przyjmowania do indywidualnych preferencji. Ponadto są szeroko dostępne w wielu kanałach sprzedaży, m.in. w drogeriach, supermarketach, aptekach czy w sprzedaży internetowej. Szacuje się, że ok. 30–50% dorosłych w krajach rozwiniętych korzysta z różnych form suplementacji diety [Stoś i in. 2019]. Należy zauważyć, że suplementy diety nie są monitorowane pod względem skuteczności i bezpieczeństwa w taki sposób, jak produkty lecznicze. Zgodnie z obowiązującymi regulacjami prawa żywnościowego, w szczególności Ustawą z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia [2006] oraz Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 9 października 2007 r. w sprawie składu i oznakowania suplementów diety [2007], produkty te nie mogą stanowić zagrożenia dla zdrowia i życia konsumentów, a ich jakość i bezpieczeństwo zdrowotne są kontrolowane przez odpowiednie jednostki urzędowe, zwłaszcza Główny Inspektorat Sanitarny (GIS).

Skład suplementów diety

Witaminy i składniki mineralne oraz ich formy chemiczne, które mogą być stosowane w produkcji suplementów diety, są określone przepisami prawnymi. W suplementach diety dopuszcza się wykorzystanie 13 witamin (witaminy A, C, D, E, K oraz z grupy B: B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₇, B₉, B₁₂) i 17 składników mineralnych (m.in. żelazo, magnez, wapń, jod, mangan, cynk, selen, chrom, molibden, fosfor, krzem oraz bor) [Stoś i in. 2019].

Ponieważ uznaje się je za żywność, zarówno zgodnie z regulacjami UE, jak i krajowymi, obowiązkiem producenta, importera lub dystrybutora jest zapewnienie, że suplement diety wprowadzany do obrotu jest bezpieczny. Powinien on zawierać istotne (skoncentrowane) ilości składników. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 9 października 2007 r. w sprawie składu i oznakowania suplementów diety [2007] w przypadku witamin i składników mineralnych zalecana dzienna porcja do spożycia powinna stanowić nie mniej niż 15% referencyjnych wartości spożycia (RWS). Zespół do spraw Suplementów Diet [Główny Inspektorat Sanitarny 2025b] działający przy Radzie Sanitarnej-Epidemiologicznej przygotował uchwały określające maksymalne dawki poszczególnych witamin i składników mineralnych. Odnośnie do pozostałych składników,

tw. botanicznych (np. ekstraktów roślinnych), w przeważającej większości brakuje szczegółowych wytycznych. Dla 10 substancji określono warunki stosowania oraz ich maksymalne dawki w suplementach diety [Główny Inspektorat Sanitarny 2025b].

Należy zauważyć, że niektóre suplementy diety, szczególnie te dostępne w sprzedaży internetowej, mogą zawierać substancje niedozwolone, stanowiąc zagrożenie dla zdrowia. W skrajnych przypadkach w ich składzie stwierdzano metale ciężkie [Gajewska 2023], a także amfetaminę i jej pochodne [Stępień i in. 2019].

Rola suplementów w diecie

Zrównoważona dieta, bazująca na odpowiednich proporcjach makroskładników oraz bogata w niezbędne mikroskładniki, jest podstawą zdrowia i dobrego samopoczucia. Powinna przede wszystkim zawierać produkty naturalne, o minimalnym przetworzeniu, a ograniczać produkty wysoko przetworzone [Gush i in. 2021]. Suplementy diety pełnią funkcję uzupełniającą i powinny być stosowane jedynie wtedy, gdy dieta nie pokrywa zapotrzebowania organizmu, co dotyczy m.in. osób starszych, stosujących diety redukcyjne lub eliminacyjne (np. wegetarianie i weganie wymagają suplementacji witaminy B₁₂), kobiet w ciąży (zalecana suplementacja kwasu foliowego, jodu, witamin B₉ i D oraz w razie potrzeby kwasu dokozaheksaenowego [DHA], żelaza i magnezu) oraz po menopauzie (zwiększone zapotrzebowanie na wapń i witaminę D) [Główny Inspektorat Sanitarny 2025a].

Według Powiatowej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Białymstoku [2024] odpowiednio dobrana suplementacja przynosi istotne korzyści, jednak konsumenci powinni podejmować świadome decyzje, stosując suplementy jedynie wtedy, gdy jest to konieczne, aby uniknąć potencjalnych skutków ubocznych i interakcji z lekami.

Stosowanie suplementów diety – zagrożenia

Obecne na rynku suplementy diety nie powinny stanowić zagrożenia dla zdrowia i życia konsumentów. Należy jednak mieć na uwadze ryzyko wystąpienia pewnych zagrożeń i skutków ubocznych przy niewłaściwym ich stosowaniu. Przykładowo wapń w dużych ilościach nie tylko może przyczyniać się do rozwoju miażdżycy oraz innych powiązanych problemów, ale także osłabiać przyswajalność antybiotyków. Wysokie dawki żelaza mogą prowadzić do problemów z jego magazynowaniem u osób cierpiących na hemochromatozę, a u osób z predyspozycjami genetycznymi długotrwałe spożywanie, przekraczające zalecane dzienne dawki, może skutkować odkładaniem się w różnych narządach wewnętrznych, prowadząc m.in. do powiększenia wątroby, uczucia osłabienia czy choroby stawów [Soni i in. 2010]. Niektóre suplementy diety mogą wchodzić w interakcje z lekami, wywołując niepożądane skutki, takie jak osłabienie lub wzmocnienie ich działania. Przykładowo:

– przeciwutleniacze, takie jak witaminy C i E, osłabiają działanie niektórych leków chemioterapeutycznych;

- witamina K może zmniejszyć skuteczność warfaryny (leku przeciwzakrzepowego), tym samym zwiększając ryzyko zakrzepów krwi;
- dziurawiec może osłabić działanie m.in. środków antykoncepcyjnych, leków nasercowych, stosowanych w leczeniu depresji, ludzkiego wirusa niedoboru odporności (ang. human immunodeficiency virus, HIV) czy raka;
- β -karoten w dawkach 20–50 mg na dzień może u palaczy zwiększać ryzyko zachorowania na raka płuc [Harvie 2014].

Jakość stosowanych suplementów oraz ich zakup z pewnych źródeł ma ogromne znaczenie. Z raportu *(Nie)kontrolowane suplementy diety* Najwyższej Izby Kontroli (NIK) z 2022 r. wynika, że wiele suplementów bywa zanieczyszczonych substancjami dopingującymi, takimi jak ibutamoren (MK-677), 5-hydroksytryptofan (5-HTP), ostaryna (MK-2866), dehydroepiandrosteron (DHEA) [Najwyższa Izba Kontroli 2022]. Początkowo efekty ich działania mogą wydawać się korzystne, co prowadzi do ich częstszego stosowania, jednak z upływem czasu mogą wywoływać niepożądane reakcje, prowadzące do poważnych zaburzeń funkcjonowania organizmu [Stoś i in. 2019].

Rynek suplementów diety – regulacje i kontrola jakości

Wprowadzenie suplementów diety do obrotu w Polsce jest procesem stosunkowo prostym. Zgodnie z obecnymi regulacjami prawnymi każdy przedsiębiorca może wprowadzać suplementy diety na rynek, ponieważ nie podlegają one tym samym procedurom rejestracyjnym i badaniom, co leki. Wymagane jest jedynie prawidłowe wypełnienie oraz złożenie odpowiedniego formularza za pośrednictwem elektronicznego systemu powiadomień, dostępnego na stronie internetowej GIS [Główny Inspektorat Sanitarny 2025a]. Po dokonaniu powyższych formalności możliwe jest rozpoczęcie sprzedaży, nawet w sytuacji, gdy nie przeszedł on szczegółowej weryfikacji czy kontroli jakości. W tym kontekście sprzedaż niesprawdzonego produktu może stanowić potencjalne zagrożenie dla zdrowia konsumentów [Baraniak i in. 2020]. Nadzór nad rynkiem suplementów diety sprawuje GIS, który posiada uprawnienia do przeprowadzania kontroli bezpieczeństwa, w tym składu oraz właściwości, tego typu produktów. Znakowanie oraz reklama suplementów diety są ściśle regulowane, a produktom nie wolno przypisywać ani właściwości zapobiegających chorobom, ani leczniczych. Wszystkie materiały reklamowe i etykiety muszą być zgodne z unijnymi przepisami dotyczącymi przekazywania konsumentom informacji na temat żywności, w tym „informacji dobrowolnych” – oświadczenia żywieniowe i zdrowotne. Tylko oświadczenia, które uzyskały pozytywną opinię Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (ang. European Food Safety Authority, EFSA) lub których proces oceny nie został zakończony i znajdują się na *pending list*, mogą być wykorzystywane w materiałach promocyjnych, po spełnieniu określonych w przepisach warunków. Niedopuszczalne jest sugerowanie, że brak stosowania danego produktu może negatywnie wpływać na zdrowie, a także odnoszenie się do szybkich efektów utraty wagi czy rekomendacji ze strony lekarzy [EFSA 2025]. W obliczu rosnącej liczby suplementów na rynku konsumentów powinni podejmować świadome decyzje dotyczące produktów o udokumentowanym składzie. W Polsce Narodowy Instytut Leków powołał Klaster Roślinnych Produktów

Leczniczych i Suplementów Diety NIL, który przyznaje certyfikaty jakości potwierdzające, że dany produkt został przebadany i posiada potwierdzony profil bezpieczeństwa [https://klasterzdrowia.pl]. Ponadto przydatna jest strona internetowa e-Sanepidu [https://e.sanepid.gov.pl], zawierająca rejestr produktów objętych powiadomieniem. Po wprowadzeniu nazwy suplementu można uzyskać informacje na temat jego statusu. Z danych dostępnych na tej stronie wynika, że od początku 2024 roku do marca 2025 r. do rejestru wprowadzono 18 341 suplementów. W przypadku 51 z nich postępowanie zostało zakończone, dla 60 było w toku, a 10 produktów zawierało składniki niedozwolone. W latach 2017–2019 kontrolerzy NIK dokonali analizy dotyczącej siedmiu produktów, dla których zakończono postępowania wyjaśniające. W wyniku tych kontroli stwierdzono, że cztery z nich nie mogły być oferowane jako suplementy diety. Co interesujące informacja dotycząca jednego z tych produktów dotarła do producenta dopiero po upływie ponad trzech lat od momentu zgłoszenia i wprowadzenia na rynek [Najwyższa Izba Kontroli 2022].

Świadomość konsumentów w zakresie suplementacji

Duży wpływ na podjęcie decyzji o stosowaniu suplementów diety ma reklama, a także osoby publiczne związane z branżą rozrywkową, tzw. celebryci, którzy często promują je jako niezbędne do zachowania zdrowia. Internet umożliwia łatwy dostęp do zakup suplementów diety, jednak równocześnie sprzyja rozpowszechnianiu nieporozumień wynikających z nierzetelnych i/lub nieopartych danymi naukowymi informacji. Wpływ oddziaływania niezweryfikowanych wiadomości na temat żywienia rozpowszechnianych drogą internetową opisywali wcześniej Denniss i współautorzy [2023], którzy przeanalizowali 10 964 posty z 61 popularnych australijskich kont na Instagramie ukierunkowanych na tematykę żywieniową. Badanie dowiodło, że marketing programów żywieniowo-treningowych *online* oraz żywności, w tym zwłaszcza suplementów diety, jest powszechny i często bazuje na niezweryfikowanych twierdzeniach o korzyściach zdrowotnych. Podkreśla to trudności związane z dostępem do sprawdzonych i opartych na dowodach naukowych informacji odnośnie do suplementacji oraz wskazuje na potrzebę działań edukacyjnych w tym zakresie. Dodatkowo nieprawidłowy styl życia, nałogi, brak aktywności fizycznej, stres, a przede wszystkim źle zbilansowana dieta, oparta na wysoko przetworzonej żywności, prowadzą do niedoborów składników odżywczych, które nierzadko są uzupełniane przez suplementy. Częstym zjawiskiem jest również sięganie po suplementy diety z kategorii „inside beauty” w celu poprawy wyglądu skóry, włosów i paznokci [Çifci i Öklü 2023]. Część konsumentów nie odróżnia suplementów diety od leków i stosuje je bez wcześniejszej konsultacji z lekarzem [Dąbrowska i Janoś-Kresło 2019, Wawryk-Gawda i in. 2018]. Podczas gdy tylko niektórzy użytkownicy uważają poprawę swojego stanu zdrowia po ich przyjęciu, znaczna część nie dostrzega żadnych efektów [Wawryk-Gawda i in. 2018]. Według *Raportu Cheers – nawyki żywieniowe Polaków 2018* [2018] w jednym z badań przeprowadzonych w 2018 r. w grupie osób w przedziale wiekowym 18–55 lat, wykazano, że 72% ankietowanych sięgało regularnie po suplementy diety, 48% spożywało je codziennie, a 86% uważało, że mają one korzystny wpływ na zdrowie.

Edukacja żywieniowa w racjonalnym stosowaniu suplementów diety

Rynek suplementów diety rozwija się w sposób dynamiczny, co rodzi obawy związane z bezpieczeństwem oraz jakością dostępnych produktów. W odpowiedzi na te wyzwania eksperci podkreślają konieczność edukacji konsumentów, w celu umożliwienia im podejmowanie świadomych decyzji w zakresie stosowania i zasad suplementacji [Dąbrowska i Janoś-Kresło 2019, Konieczny 2020]. Badania i obserwacje sugerują, że wraz z wiekiem trudniej zmienić nawyki i zachowania żywieniowe [Ueland i in. 2022], stąd też duży wpływ na kształtowanie świadomości żywieniowej wśród młodych ludzi mają działania edukacyjne [Goss i in. 2021, Singletary i in. 2014]. Edukacja żywieniowa powinna stanowić kluczowy element edukacji wczesnoszkolnej. W ramach tego typu działań uczniowie powinni zapoznawać się z piramidą zdrowego żywienia oraz aktywności fizycznej, jednocześnie omawiając skutki niezdrowego trybu życia. Często jednak ograniczenie się do teoretycznych koncepcji jest niewystarczające [Konieczny 2020]. W celu zwiększenia efektywności procesu nauczania niezbędne wydają się programy edukacyjne, promujące wśród uczniów zdrowy styl odżywiania się. Programy takie z powodzeniem od wielu lat funkcjonują m.in. w Japonii [Asakura i in. 2021]. W kontekście działań edukacyjnych z zakresu suplementacji diety ważna jest umiejętność krytycznego podejścia do reklam, analiza składu suplementów diety, porównywanie ich z naturalnymi źródłami składników odżywczych oraz rozumienie zasadności stosowania suplementów w zależności od indywidualnych potrzeb i stanu zdrowia.

Edukacja uniwersytecka w tym zakresie sprzyja świadomemu i odpowiedzialnemu, bazującemu na wiedzy stosowaniu suplementów diety wśród młodych dorosłych [Begdache i in. 2020]. W edukacji dorosłych dużo uwagi należy poświęcić interakcjom suplementów diety z lekami oraz ich wpływowi na organizm w zależności od grupy wiekowej czy stanu fizjologicznego. Na przykład kobiety w ciąży powinny stosować suplementację witaminy B₉, co znacząco obniża ryzyko wystąpienia wad cewy nerwowej u płodu. Jednocześnie inne suplementy mogą być dla nich niewskazane, co podkreśla konieczność odbycia konsultacji z lekarzem i/lub dietetykiem [Grzelak i in. 2016]. Starannie zaplanowane programy edukacyjne lub kampanie informacyjne mogą przynieść długofalowe korzyści zdrowotne oraz ekonomiczne, zwiększając zainteresowanie prawidłowym odżywianiem oraz wspierając rozwój zdrowych nawyków wśród różnych grup wiekowych konsumentów [Szczepańska i in. 2018]. We współczesnym świecie kształtowanie świadomych konsumentów w zakresie wpływu dokonywanych wyborów żywieniowych na zdrowie jest niezwykle istotne [Konieczny 2020].

Podsumowanie

Suplementy diety z roku na rok są coraz bardziej popularne i chętnie spożywane przez Polaków. Mogą one stanowić cenne i efektywne uzupełnienie w przypadku rzeczywistych niedoborów składników odżywczych. Ważne jest jednak, aby ich stosowanie było kontrolowane i w pełni uzasadnione. Kluczowym elementem jest zatem edukacja, która może być skutecznym narzędziem w ochronie konsumentów przed potencjalnymi

zagrożeniami związanymi z nieodpowiedzialnym przyjmowaniem suplementów diety. Warto pamiętać, iż każda osoba jest inna, stąd też przed rozpoczęciem jakiegokolwiek suplementacji diety warto skonsultować się ze specjalistą, np. dietetykiem czy lekarzem. Idealnym rozwiązaniem byłoby również wykonanie niezbędnych badań podstawowych i biochemicznych, mających na celu ocenę ogólnego stanu zdrowia organizmu, w tym potwierdzenie potencjalnych niedoborów składników odżywczych. W dobie łatwego dostępu do wysoko przetworzonej żywności oraz intensywnego marketingu produktów spożywczych edukacja konsumencka odgrywa kluczową rolę w promowaniu zdrowych nawyków żywieniowych.

Bibliografia

- Asakura K., Mori S., Sasaki S., Nishiwaki Y., 2021. A school-based nutrition education program involving children and their guardians in Japan: facilitation of guardian-child communication and reduction of nutrition knowledge disparity. *Nutr. J.* 20(1), 92, <https://doi.org/10.1186/s12937-021-00751-z>.
- Baraniak J., Kania-Dobrowolska M., Górską A., Wolek M., Bogacz A., 2020. Istotne problemy związane z bezpieczeństwem surowców roślinnych obecnych w wybranych grupach suplementów diety. *Post. Fitoter.* 21(3), 161–168, <http://doi.org/10.25121/PF.2020.21.3.161>.
- Begdache L., Kianmehr H., Heaney C.V., 2020. College education on dietary supplements may promote responsible use in young adults. *J. Diet. Suppl.* 17(1), 67–80, <https://doi.org/10.1080/19390211.2018.1482983>.
- Çifci A., Öklü K., 2023. Obesity: etiology and the problems it causes. *Intercont. J. Intern. Med.* 1(1), 24–29, <https://doi.org/10.51271/ICJIM-0005>.
- Dąbrowska A., Janoś-Kresło M., 2019. Suplementy diety a prawa konsumentów. *Ekonomia* 24, 9–23, <https://doi.org/10.19195/2084-4093.24.4.1>.
- Denniss E., Lindberg R., McNaughton S.A., 2023. Nutrition-related information on Instagram: a content analysis of posts by popular australian accounts. *Nutrients* 15(10), 2332, <https://doi.org/10.3390/nu15102332>.
- e-Sanepid, <https://e.sanepid.gov.pl> [dostęp: 31.03.2025].
- Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA), 2025. Suplementy diety, <https://www.efsa.europa.eu/pl/safe2eat/food-supplements> [dostęp: 31.03.2025].
- Feldman J., 2025. Nadmierna suplementacja szkodzi zdrowiu, <https://feldmannutrition.pl/nadmierna-suplementacja-szkodzi-zdrowiu> [dostęp: 31.03.2025].
- Gajewska M.J., 2023. Analysis of content of selected heavy metals in dietary supplements available on the Polish market. *Farm. Pol.* 79(9), 529–536, <https://doi.org/10.32383/farmpol/176200>.
- Główny Inspektorat Sanitarny, 2025a. Suplementy diety pod lupą: eksperci radzą, jak stosować je odpowiedzialnie, <https://www.gov.pl/web/gis/suplementy-diety-pod-lupa-eksperci-radza-jak-stosowac-je-odpowiedzialnie> [dostęp: 25.03.2025].
- Główny Inspektorat Sanitarny, 2025b. Zespół do spraw Suplementów Diety, <https://www.gov.pl/web/gis/zespol-do-spraw-suplementow-diety> [dostęp: 25.03.2025].
- Goss H.R., McDermott C., Hickey L., Issartel J., Meegan S., Morrissey J., Murrin C., Peers C., Smith C., Spillane A., Belton S., 2021. Understanding disadvantaged adolescents' perception of health literacy through a systematic development of peer vignettes. *BMC Public Health* 21, 593, <https://doi.org/10.1186/s12889-021-10634-x>.

- Grzelak T., Suliga K., Sperling M., Pelczyńska M., Czyżewska K., 2016. Ocena stosowania suplementów diety wśród kobiet ciężarnych lub planujących ciążę. *Forum Zab. Metab.* 7(1), 8–15.
- Gush L., Shah S., Gilani F., 2021. *Macronutrients and micronutrients*. W: Emma Short (red.), *A prescription for healthy living: guide to lifestyle medicine*, Academic Press, London, 255–273, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821573-9.00023-0>.
- Harvie M., 2014. Nutritional supplements and cancer: potential benefits and proven harms. *Am. Soc. Clin. Oncol. Educ. Book* 34(1), e478–486, https://doi.org/10.14694/EdBook_AM.2014.34.e478
- Klaster Roślinnych Produktów Leczniczych i Suplementów Diety NIL, <https://klasterzdrowia.pl> [dostęp: 25.03.2025].
- Konieczny J., 2020. Edukacja żywieniowa w myśl zasad zrównoważonego rozwoju. *Eduk. Elem. Teor. Prakt.* 15(4), 53–63, <https://doi.org/10.35765/eetp.2020.1558.04>.
- Najwyższa Izba Kontroli, 2022. (Nie)kontrolowane suplementy diety, <https://www.nik.gov.pl/najnowsze-informacje-o-wynikach-kontroli/niekontrolowane-suplementy-diety.html> [dostęp: 25.03.2025].
- Powiatowa Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna w Białymstoku, 2024. Suplementy diety – czy potrzebujesz? <https://www.gov.pl/web/psse-bialystok/suplementy-diety--czy-potrzebujesz> [dostęp: 25.03.2025].
- Raport Cheers – nawyki żywieniowe Polaków 2018, 2018, <https://cheers.com.pl/kategoria-wiedza/nawyki-zywniowe-polakow/> [dostęp: 25.03.2025].
- Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 9 października 2007 r. w sprawie składu oraz oznakowania suplementów diety, 2007. *Dz. U.* 2007 nr 196 poz. 1425, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20071961425/O/D20071425.pdf> [dostęp: 25.03.2025].
- Sapilak B.J., 2023. Lek vs suplement diety – zasadnicza różnica. *Med. Fakt.* 16(2), 209–212, <https://doi.org/10.24292/01.MF.0223.12>.
- Singletary J.H., Bartle C.L., Svirydzenka N., Suter-Giorgini N.M., Cashmore A.M., Dogra N., 2014. Young people's perceptions of mental and physical health in the context of general wellbeing. *Health Educ. J.* 74(3), 257–269, <https://doi.org/10.1177/0017896914533219>.
- Soni M.G., Thurmond T.S., Miller 3rd E.R., Spriggs T., Bendich A., Omaye S.T., 2010. Safety of vitamins and minerals: controversies and perspective. *Toxicol. Sci.* 118(2), 348–355, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfq293>.
- Stępień K.A., Niewiarowski J., Harasimiuk A., 2019. Powszechność suplementów diety a zagrożenia związane z ich stosowaniem. *Prospect. Pharm. Sci.* 17(9), 51–59, <https://doi.org/10.56782/pps.22>
- Stoś K., Wierzejska R., Siuba-Strzelińska M., 2019. Suplementy diety – czy potrzebujesz? 4–13, https://ncez.pl/upload/broszura_suplementy.pdf [dostęp: 25.03.2025].
- Szczepańska E., Bielaszka A., Janion K., Słoma M., Stanuch B., Stefaniak A., Szeja N., Grochowska-Niedworok E., 2018. Creating and using nutrition education program as example of developing proper eating habits among children. *Ann. Acad. Med. Siles.* 72, 156–163, <https://doi.org/10.18794/aams/78395>.
- Tyszczyk N., Rogala H., Waclawska M., 2023. Wpływ otyłości na układ sercowo-naczyniowy oraz rola zbilansowanej diety w prewencji chorób.
- Ueland Ø., Grini I.S., Schillinger I., Varela P., 2022. Opportunities and barriers for food intake in older age – A Norwegian perspective. *Food Nutr. Res.* 66, 8628, <https://doi.org/10.29219/fnr.v66.8628>
- Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia, 2006. *Dz. U.* 2006 nr 171 poz. 1225, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdm20061711225> [dostęp: 25.03.2025].

- Wawryk-Gawda E., Budzyńska B., Lis-Sochacka M., Chylińska-Wrzos P., Zarobkiewicz M., Jodłowska-Jędrych B., 2018. Dietary supplements – consumer assessment based on questionnaire survey. *Przegl. Epidemiol.* 72(1), 111–120.
- Włodarczyk E., 2022. Zioła i suplementy diety post-COVID, czyli możliwości wspierania chorych i ozdowieńców. *Herb.* 8(1), 166–182, <https://doi.org/10.12775/herb.2022.013>.

Dieta low-FODMAP jako strategia łagodzenia objawów IBS

The Low-FODMAP diet as a strategy for alleviating IBS symptoms

Wstęp

Zespół jelita drażliwego (ang. irritable bowel syndrome, IBS) to powszechne zaburzenie czynnościowe przewodu pokarmowego [Asal i in. 2025]. Objawia się bólami brzucha, wzdęciami oraz nieregularnym wypróżnianiem, obejmującym biegunkę, zaparcia lub ich naprzemienne występowanie. Często współistnieje z problemami natury psychicznej, takimi jak lęk i depresja, ponieważ zaburzenie to jest ściśle związane z osią jelitowo-mózgową – systemem dwukierunkowej komunikacji między ośrodkowym i jelitowym układem nerwowym. U osób cierpiących na IBS często występuje nadwrażliwość trzewna, czyli zwiększona reakcja na bodźce ze strony układu pokarmowego, co potęguje bolesne dolegliwości. Ponadto zaburzenia w składzie mikroflory jelitowej, określane jako dysbioza, odgrywają istotną rolę w rozwoju choroby, wpływając na przepuszczalność jelit, aktywność układu odpornościowego i mechanizmy neuroendokrynne [Marano i in. 2025].

Dotyka 10–20% populacji na całym świecie, zwłaszcza osób dorosłych poniżej 40. roku życia, a częstość występowania jest wyższa u kobiet niż u mężczyzn [El-Salhy i in. 2025]. Objawy mogą przypominać inne choroby przewodu pokarmowego, np. zespół rozrostu bakteryjnego jelita cienkiego (ang. small intestinal bacterial overgrowth, SIBO), który często współistnieje z IBS, co utrudnia postawienie prawidłowej diagnozy [Sachdeva i in. 2011]. Obecnie IBS rozpoznaje się głównie metodą wykluczenia innych schorzeń oraz na podstawie Kryteriów Rzymskich [Pawlak i in. 2017]. Leczenie farmakologiczne jest ograniczone, dlatego kluczową rolę odgrywają strategie dietetyczne, w szczególności dieta o niskiej zawartości FODMAP (ang. low fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols, low-FODMAP).

Celem pracy było przedstawienie zasad stosowania diety low-FODMAP jako metody łagodzenia objawów IBS.

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Sekcja Rybactwa, wiktoria.momola@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych

Czym jest FODMAP

FODMAP jest grupą związków, w tym oligosacharydów (fruktanów, fruktooligosacharydów, galaktooligosacharydów – GOS), disacharydów (laktozy), monosacharydów (fruktozy), polioli (sorbitolu, mannitolu, maltitolu, ksylitolu, polidekstrozy), które można znaleźć w produktach spożywczych [Barrett 2013]. Związki te, zaliczane do węglowodanów o krótkim łańcuchu, charakteryzują się słabym wchłanianiem w jelicie cienkim i ulegają fermentacji w jelicie grubym, co u osób z IBS może prowadzić do występowania dolegliwości trawiennej [Bertin i in. 2024]. Spożywanie produktów bogatych w FODMAP może nasilać objawy IBS przez zwiększanie ilości wody w jelicie cienkim oraz intensyfikację produkcji gazów w jelicie grubym. U osób zdrowych związki te pełnią jednak korzystną funkcję – wykazują właściwości prebiotyczne, wspierają prawidłową pracę jelit oraz stanowią źródło krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, które mogą przyczyniać się do redukcji stanów zapalnych i poprawy równowagi mikroflory jelitowej [Catassi i in. 2017]. Terapia IBS wymaga odpowiednio dobranej diety, opracowanej przez specjalistów, której przestrzeganie ma kluczowe znaczenie w łagodzeniu objawów. Zazwyczaj stosuje się dietę eliminacyjną, polegającą na wykluczeniu składników wywołujących dolegliwości trawienne, co pozwala na poprawę samopoczucia i jakości życia pacjentów [Chu i in. 2025].

Fruktoza

Fruktoza to sześciowęglowy monosacharyd naturalnie występujący w owocach i miodzie, którego wchłanianie w jelicie cienkim zależy od przyjętej dawki oraz indywidualnych predyspozycji organizmu. Proces ten zachodzi w nabłonku jelitowym i może przebiegać z różną efektywnością. Badania wykazały, że spośród 17 zdrowych ochotników aż 53% miało trudności z przyswojeniem 50 g fruktozy, podczas gdy zmniejszenie dawki do 25 g obniżyło ten odsetek do 12,5%. Wchłanianie fruktozy ułatwia obecność glukozy dzięki aktywności transportera GLUT-2, który wspomaga proces absorpcji glukozy i fruktozy. Kluczowym czynnikiem wpływającym na skuteczność wchłaniania jest więc stosunek ilościowy obu tych cukrów – nadmiar fruktozy w stosunku do glukozy prowadzi do jej niepełnego przyswajania. U osób z IBS spożycie 35 g fruktozy powoduje zaburzenia wchłaniania u 30–60% pacjentów, co jest porównywalne z wynikami obserwowanymi w grupie osób zdrowych [Molina-Infante i in. 2016]. Badania potwierdzają, że fruktoza – jako cukier o wysokim ciśnieniu osmotycznym, łatwo fermentujący i słabo wchłaniany – może nasilać objawy IBS [Varjú i in. 2017]. Stosowanie diety low-FODMAP, z ograniczeniem spożycia fruktozy oraz innych fermentujących węglowodanów, może przynieść znaczną ulgę w dolegliwościach związanych z IBS. Redukcja FODMAP w diecie wpływa na zmniejszenie obciążenia osmotycznego i ograniczenie produkcji gazów w jelicie cienkim oraz okrężnicy, co przekłada się na złagodzenie objawów u pacjentów z IBS [Mróz i Korek 2020].

Laktoza

Laktoza, dwucukier obecny w mleku i jego przetworach, przed wchłonięciem w jelicie cienkim musi zostać rozłożona na glukozę i galaktozę przez enzym laktazę, znajdujący się w rąbku szczoteczkowym jelita [Mądry i in. 2011]. Jednak nawet 70% populacji wykazuje hipolaktazję, co może prowadzić do niepełnego trawienia i wchłaniania laktozy. Częstość zaburzeń wchłaniania tego cukru wśród pacjentów z IBS (20–85%) jest zbliżona do obserwowanej w populacji ogólnej [Molina-Infante i in. 2016]. Nietolerancja laktozy i IBS mają podobny obraz kliniczny, co może utrudniać diagnozę – w obu przypadkach dominują takie objawy, jak wzdęcia, bóle brzucha i biegunka. Z tego względu kluczowe jest przeprowadzenie odpowiednich testów diagnostycznych, aby jednoznacznie określić, czy objawy pacjenta wynikają z nietolerancji laktozy, czy są związane z IBS [Cancarevic i in. 2020].

Fruktany i galaktooligosacharydy – działanie prebiotyczne

Układ pokarmowy człowieka nie produkuje enzymów zdolnych do trawienia oligosacharydów. W efekcie niestrawione, docierają do jelita grubego, gdzie ulegają fermentacji. Fruktany oraz GOS zaliczane są do prebiotyków, ponieważ selektywnie pobudzają wzrost i aktywność pożytecznych bakterii jelitowych, zwłaszcza szczepów *Bifidobacteria* i *Lactobacillus*. To właśnie ta właściwość odróżnia je od większości innych fermentujących węglowodanów, np. polisacharydów nieskrobiowych [Molina-Infante i in. 2016]. Fruktany stanowią główne źródło fermentujących węglowodanów w diecie. Badania wskazują, że zarówno fruktany, jak i GOS należą do kluczowych składników FODMAP, które mogą nasilać objawy IBS. W jednym z badań wykazano, że spożycie fruktanów wywołało dolegliwości u 56% uczestników, a GOS przyczyniły się do nasilenia objawów u 35% badanych [Fedewa i Rao 2014].

Poliole

W diecie można znaleźć różne rodzaje poliolei, czyli alkoholi cukrowych, do których należą m.in. sorbitol, mannitol, laktitol i ksylitol. Sorbitol oraz mannitol występują naturalnie w owocach i warzywach, a także są wykorzystywane jako substancje słodzące w produktach niskokalorycznych. Szybkość ich wchłaniania zależy głównie od wielkości cząsteczki i przebiega w sposób pasywny, choć jego efektywność różni się w zależności od organizmu. Badania wykazały, że 60–70% zarówno zdrowych osób, jak i pacjentów z IBS nie jest w stanie całkowicie przyswoić dawki 10 g sorbitolu [Molina-Infante i in. 2016]. Poliole są słabo absorbowane w jelicie cienkim, co sprawia, że docierają do jelita grubego, gdzie ulegają fermentacji przez bakterie jelitowe. Proces ten może prowadzić do nieprzyjemnych dolegliwości, takich jak wzdęcia, bóle brzucha czy biegunki, szczególnie u osób cierpiących na IBS. Ponadto poliole działają osmotycznie, przyciągając wodę do światła jelita, co dodatkowo nasila objawy IBS [Mróz i Korek 2020].

Dieta low-FODMAP

Dieta low-FODMAP charakteryzuje się dużą restrykcyjnością, co może prowadzić do niedoborów składników mineralnych, takich jak Ca, a także do zmniejszenia podaży błonnika w codziennym jadłospisie. Z tego względu jej stosowanie powinno odbywać się pod nadzorem dietetyka, który pomoże odpowiednio zbilansować zarówno mikro-, jak i makroskładniki [Liu i in. 2020]. Uważa się, że czynniki związane z dietą odgrywają kluczową rolę w łagodzeniu objawów IBS, korzystnie wpływając nawet na 84% chorych. Przed wdrożeniem diety ograniczającej FODMAP konieczne jest przeprowadzenie szczegółowego wywiadu żywieniowego, obejmującego analizę aktualnych nawyków żywieniowych, poziomu aktywności fizycznej i zawodowej, preferencji smakowych oraz wstępne określenie zawartości FODMAP w stosowanej diecie [Gulbicka i Grzymisławski 2016]. W tabeli 1 przedstawiono przykładowe produkty zawierające FODMAP.

Tabela 1. Produkty zawierające FODMAP [oprac. wł. na podst. Molina-Infante i in. 2016]

Fruktoza	Laktoza	Fruktany	Poliole
warzywa: szparagi, karczochy	mleko i jogurty: krowie, kozie i owcze (zwykle i niskotłuszczowe)	warzywa: czosnek, cebula, karczochy, buraki, brokuły	warzywa: kalafior, groszek
owoce: jabłka, gruszki, arbuzy, figi, mango	sery: ricotta, serek wiejski, serek śmietankowy	produkty zbożowe: chleb, makaron, kuskus, krakersy, ciasteczka	owoce: jabłka, gruszki, morele, brzoskwinie, śliwki, awokado, wiśnie, arbuz
miód/syropy: fruktoza, syrop kukurydziany	produkty mleczne: lody, kremy	owoce: arbuz, brzoskwinie, nektarynki	słodziki: sorbitol, mannitol, ksylitol, maltitol

W ostatnich dekadach liczne badania potwierdziły kliniczną skuteczność diety low-FODMAP u pacjentów z IBS. Wyniki jednoznacznie wykazują, że jej stosowanie znacząco zmniejsza dolegliwości ze strony przewodu pokarmowego oraz poprawia jakość życia pacjentów. Przykładem jest badanie przeprowadzone w Wielkiej Brytanii na grupie 52 pacjentów z klinik gastroenterologicznych. Uczestników podzielono na dwie grupy: jedna stosowała standardową dietę, druga została objęta dietą low-FODMAP. Eksperyment trwał cztery tygodnie, a jego wyniki wykazały, że ponad połowa pacjentów na diecie low-FODMAP odczuła znaczną ulgę w objawach jelitowych i uzyskała wyraźną redukcję nasilenia IBS [Zhang i Su 2025].

Etapy diety low-FODMAP

Proces eliminacji składników FODMAP przebiega w trzech etapach, które mają na celu stopniowe dostosowanie diety do indywidualnej tolerancji pacjenta.

Etap pierwszy polega na czasowym wykluczeniu z jadłospisu produktów bogatych w FODMAP na 2–6 tygodni. Warto podkreślić, że nie jest to dieta eliminacyjna w pełnym tego słowa znaczeniu, lecz sposób żywienia oparty na zamianie produktów o wysokiej zawartości FODMAP (np. gruszki, jabłka) na ich lepiej tolerowane odpowiedniki o niskiej zawartości FODMAP (np. pomarańcze). Należy pamiętać, że nie powinno się przedłużać tej fazy, ponieważ dieta jest dość restrykcyjna, a jej długotrwałe stosowanie może prowadzić do niedoborów witamin, składników mineralnych oraz błonnika. Wykluczenie produktów o wysokiej zawartości FODMAP na zbyt długi czas zwiększa ryzyko wystąpienia zaburzeń żywieniowych [Staudacher i in. 2014].

Etap drugi obejmuje dalsze stosowanie diety low-FODMAP przy jednoczesnym stopniowym wprowadzaniu wcześniej wykluczonych produktów. Proces ten powinien trwać 8–12 tygodni i polega na testowaniu poszczególnych składników – każdy z nich należy wprowadzać pojedynczo przez około trzy dni, stopniowo zwiększając wielkość porcji i obserwując ewentualne reakcje organizmu. Celem tej fazy jest identyfikacja dobrze tolerowanych produktów, które nie wywołują dolegliwości ze strony układu pokarmowego [Marciniak i in. 2023].

Etap trzeci to opracowanie długoterminowego, spersonalizowanego planu żywieniowego, który uwzględnia indywidualny poziom tolerancji FODMAP oraz eliminuje składniki powodujące nieprzyjemne objawy jelitowe [Staudacher i in. 2014]. Obecnie nie istnieje jednoznacznie określona norma dotycząca tolerowanej ilości FODMAP, a w dostępnych tabelach składu wartości odżywczych brakuje informacji na temat ich zawartości w produktach spożywczych. Z tego powodu niezwykle istotne jest indywidualne podejście do komponowania diety. Warto pamiętać, że dieta low-FODMAP początkowo może być bardzo restrykcyjna, dlatego kluczowa jest kontrola specjalisty, który pomoże dostosować jadłospis do potrzeb pacjenta i uniknąć niedoborów pokarmowych [Staudacher i in. 2012].

Związek diety low-FODMAP z mikrobiotą jelitową

Pomimo rosnącej liczby badań potwierdzających skuteczność diety low-FODMAP jako jednej z najefektywniejszych interwencji dietetycznych w leczeniu IBS oraz jej rekomendacji jako opcji drugiej linii postępowania [Halmos i Gibson 2019] niektóre jej potencjalne skutki uboczne budzą niepokój. Szczególnie ważnym zagadnieniem jest znaczne zmniejszenie liczebności *Bifidobacterium* w jelitach [Wilson i in. 2020]. Dodatkowo większość badań klinicznych dotyczących diety low-FODMAP [Bellini i in. 2020] koncentrowała się na krótkoterminowych efektach terapeutycznych (≤ 12 tygodni), podczas gdy długoterminowe stosowanie tej diety ma kluczowe znaczenie, biorąc pod uwagę przewlekły charakter IBS. Istnieją również dowody na to, że dieta low-FODMAP może prowadzić do obniżonego spożycia Ca [Morariu i in. 2023], co w konsekwencji może

zwiększać ryzyko osteoporozy i złamań u osób dotkniętych tą chorobą. Dodatkowym wyzwaniem jest indywidualna reakcja pacjentów na określone grupy produktów – badania wykazały, że aż 70–89% osób z IBS odczuwa nasilenie objawów po spożyciu niektórych pokarmów. W efekcie wielu pacjentów spontanicznie ogranicza lub całkowicie eliminuje niektóre składniki diety, co sprawia, że standardowy model diety low-FODMAP może nie być odpowiedni dla każdego chorego. Whelan i współautorzy [2018] przeprowadzili badanie kliniczne z udziałem 18 pacjentów z IBS. Po przejściu przez trzy fazy diety eliminacyjnej FODMAP ponowne wprowadzanie produktów oraz personalizacja żywienia w kolejnych 12 miesiącach u niemal 70% pacjentów spowodowały znaczącą poprawę. Nie zaobserwowano istotnej redukcji liczebności *Bifidobacteria*, a objawy IBS zostały wyraźnie złagodzone.

Podsumowanie

Podsumowując, dieta low-FODMAP stanowi jedno z najskuteczniejszych narzędzi dietetycznych w łagodzeniu objawów IBS, zapewniając znaczną ulgę w takich dolegliwościach, jak przewlekły ból brzucha i wzdęcia. Choć jej skuteczność została szeroko udokumentowana, nie można ignorować jej potencjalnego wpływu na mikrobiom jelitowy. Niektóre z badań wskazują, że eliminacja FODMAP może prowadzić do zmian w składzie mikroflory jelitowej, w tym do redukcji populacji korzystnych bakterii, takich jak *Bifidobacteria*. Te potencjalne konsekwencje budzą wątpliwości odnośnie do długoterminowych skutków stosowania tej diety, zarówno dla zdrowia jelit, jak i ogólnego samopoczucia pacjentów. Aby minimalizować ryzyko negatywnego wpływu na mikrobiom, zaleca się wdrażanie takich strategii, jak stopniowe ponowne wprowadzanie wyeliminowanych produktów, indywidualizacja diety oraz włączenie probiotyków. Dzięki temu możliwe jest nie tylko utrzymanie trwałej remisji IBS, ale również ochrona równowagi mikrobiologicznej i funkcji przewodu pokarmowego. Wciąż jednak istnieje potrzeba dalszych badań nad związkiem między dietą low-FODMAP, mikrobiomem jelitowym i objawami IBS. Lepsze zrozumienie tych mechanizmów pozwoli na dopracowanie strategii dietetycznych, które będą skuteczne w redukcji objawów, bezpieczne i dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjentów.

Bibliografia

- Asal M.G.R., El-Sayed A.A.I., Alsenany S.A., Ramzy Z.H., Dawood R.F.A., 2025. Self-administered active versus sham acupressure for diarrhea predominant irritable bowel syndrome: a nurse-led randomized clinical trial. *BMC Nurs.* 24(1), <https://doi.org/10.1186/s12912-024-02594-5>.
- Barrett J.S., 2013. Extending our knowledge of fermentable, short-chain carbohydrates for managing gastrointestinal symptoms. *Nutr. Clin. Pract.* 28(3), 300–306, <https://doi.org/10.1177/0884533613485790>.
- Bellini M., Tonarelli S., Nagy A.G., Pancetti A., Costa F., Ricchiuti A., de Bortoli N., Mosca M., Marchi S., Rossi A., 2020. Low FODMAP diet: evidence, doubts, and hopes. *Nutrients* 12(1), 148, <https://doi.org/10.3390/nu12010148>.

- Bertin L., Zanonato M., Crepaldi M., Marasco G., Cremon C., Barbara G., Barberio B., Zingone F., Savarino E.V., 2024. The role of the FODMAP diet in IBS. *Nutrients* 16(3), <https://doi.org/10.3390/nu16030370>.
- Cancarevic I., Rehman M., Iskander B., Lalani S., Malik B.H., 2020. Is there a correlation between irritable bowel syndrome and lactose intolerance? *Cureus* 12(1), e6710, <https://doi.org/10.7759/cureus.6710>.
- Catassi G., Lionetti E., Gatti S., Catassi C., 2017. The low FODMAP diet: many question marks for a catchy acronym. *Nutrients* 9(3), 292, <https://doi.org/10.3390/nu9030292>.
- Chu P., He Y., Hu F., Wang X., 2025. The effects of low FODMAP diet on gut microbiota regulation: a systematic review and meta-analysis. *J. Food Sci.* 90(3), <https://doi.org/10.1111/1750-3841.70072>.
- El-Salhy M., Johansson M., Klevstul M., Hatlebakk J.G., 2025. Quality of life, functional impairment and healthcare experiences of patients with irritable bowel syndrome in Norway: an online survey. *BMC Gastroenterol.* 25, 143, <https://doi.org/10.1186/s12876-025-03685-6>.
- Fedewa A., Rao S.S.C., 2014. Dietary fructose intolerance, fructan intolerance and FODMAPs. *Curr. Gastroenterol. Rep.* 16, 370, <https://doi.org/10.1007/s11894-013-0370-0>.
- Gulbicka P., Grzymisławski M., 2016. Wzdęcia brzucha – najczęstsze przyczyny i postępowanie. *Piel. Zdr. Publ.* 6(1), 69–76, <https://doi.org/10.17219/pzp/62045>.
- Halmos E.P., Gibson P.R., 2019. Controversies and reality of the FODMAP diet for patients with irritable bowel syndrome. *J. Gastroenterol. Hepatol.* 34, 1134–1142, <https://doi.org/10.1111/jgh.14650>.
- Liu J., Chey W.D., Haller E., Eswaran S., 2020. Low-FODMAP diet for irritable bowel syndrome: what we know and what we have yet to learn. *Annu. Rev. Med.* 71, 303–314, <https://doi.org/10.1146/annurev-med-050218-013625>.
- Marciniak M., Swora-Cwynar E., Dobrowolska A., Wiśniewski P., 2023. Możliwość zastosowania diety FODMAP w leczeniu zaburzeń żołądkowo-jelitowych u sportowców. *Kosmos* 72(1), 63–70, https://doi.org/10.36921/kos.2023_2915.
- Marano G., Traversi G., Pola R., Gasbarrini A., Gaetani E., Mazza M., 2025. Irritable bowel syndrome: a hallmark of psychological distress in women? *Life* 15(2), 277, <https://doi.org/10.3390/life15020277>.
- Mądry E., Krasieńska B., Walkowiak J., Adamczak-Ratajczak A., 2011. Hipolaktazja, zespół złego wchłaniania laktozy, nietolerancja laktozy. *Fam. Med. Prim. Care* 13(2), 334–336.
- Molina-Infante J., Serra J., Fernandez-Bañares F., Mearin F., 2016. The low-FODMAP diet for irritable bowel syndrome: lights and shadows. *Gastroenterol Hepatol.* 39(2), 55–65, <https://doi.org/10.1016/j.gastre.2016.01.004>.
- Morariu I.D., Avasilcai L., Vieriu M., Lupu V.V., Morariu B.A., Lupu A., Morariu P.C., Pop O.L., Starcea I.M., Trandafir L., 2023. Effects of a low-FODMAP diet on irritable bowel syndrome in both children and adults – a narrative review. *Nutrients* 15(10), 2295, <https://doi.org/10.3390/nu15102295>.
- Mróz M., Korek E., 2020. Znaczenie i skuteczność diety low-FODMAP w leczeniu zespołu jelita drażliwego. *Pediatr. Med. Rodz.* 16(4), 355–361, <https://doi.org/10.15557/PiMR.2020.0064>.
- Pawlak K., Rudzik R., Lewiński M., Majcher S., Śluczankowska-Głębowska S., 2017. Dieta L-FODMAP w leczeniu zespołu jelita drażliwego. *Bromatol. Chem. Toksykol.* 2, 179–183.
- Sachdeva S., Rawat A.K., Reddy R.S., Puri A.S., 2011. Small intestinal bacterial overgrowth (SIBO) in irritable bowel syndrome: frequency and predictors. *J. Gastroenterol. Hepatol.* 26(s3), 135–138, <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2011.06654.x>.

- Staudacher H.M., Irving P.M., Lomer M.C.E., Whelan K., 2014. Mechanisms and efficacy of dietary FODMAP restriction in IBS. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 11, 256–66, <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2013.259>.
- Staudacher H.M., Lomer M.C.E., Anderson J.L., Barrett J.S., Muir J.G., Irving P.M., Whelan K., 2012. Fermentable carbohydrate restriction reduces luminal Bifidobacteria and gastrointestinal symptoms in patients with irritable bowel syndrome. *J. Nutr.* 142(8), 1510–1518, <https://doi.org/10.3945/jn.112.159285>
- Varjú P., Farkas N., Hegyi P., Garami A., Szabó I., Illés A., Solymár M., Vincze Á., Balaskó M., Pár G., Bajor J., Szűcs Á., Huszár O., Pécsi D., Czimmer J., 2017. Low fermentable oligosaccharides, disaccharides, monosaccharides and polyols (FODMAP) diet improves symptoms in adults suffering from irritable bowel syndrome (IBS) compared to standard IBS diet: a meta-analysis of clinical studies. *PLoS One*, 12(8), e0182942, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182942>
- Whelan K., Martin L.D., Staudacher H.M., Lomer M.C.E., 2018. The low FODMAP diet in the management of irritable bowel syndrome: an evidence-based review of FODMAP restriction, reintroduction and personalisation in clinical practice. *J. Hum. Nutr. Diet.* 31(2), 239–255, <https://doi.org/10.1111/jhn.12530>.
- Wilson B., Rossi M., Kanno T., Parkes G.C., Anderson S., Mason A.J., Irving P.M., Lomer M.C., Whelan K., 2020. β -galactooligosaccharide in conjunction with low FODMAP diet improves irritable bowel syndrome symptoms but reduces fecal Bifidobacteria. *Am. J. Gastroenterol.* 115(6), p906–915, <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000641>.
- Zhang H., Su Q., 2025. Low-FODMAP Diet for irritable bowel syndrome: insights from microbiome. *Nutrients* 17(3), 544, <https://doi.org/10.3390/nu17030544>.

Anna Oleszczuk¹, Agnieszka M. Grzebalska², Julia Koziel¹,
Noemi Kufrejska¹, Szymon Kosmala¹

Dobrze znane, codziennie używane – ale czy na pewno o dobrym działaniu na nerki?

Well-known, commonly used – but is it really effective for kidney health?

Wstęp

Funkcjonowanie nerek jest ściśle powiązane z nawykami żywieniowymi, które mogą wpływać na ich obciążenie i długoterminową kondycję. Współczesna dieta, często oparta na produktach wysoko przetworzonych, zawiera składniki mogące szkodliwie oddziaływać na nerki. W ostatnich latach wzrosło zainteresowanie badaniami nad tym, jak określone elementy diety przyczyniają się do zmian w funkcji oraz potencjalnie zwiększają ryzyko schorzeń nefrologicznych.

Nerki to parzyste narządy o złożonej budowie, odpowiadające nie tylko za filtrowanie krwi i usuwanie zbędnych produktów przemiany materii, ale także za utrzymanie równowagi wodno-elektrolitowej, regulację ciśnienia tętniczego, gospodarki kwasowo-zasadowej oraz produkcję niektórych hormonów, takich jak erytropoetyna. Ich sprawne działanie ma więc kluczowe znaczenie w utrzymaniu homeostazy całego ustroju [Arcand i in. 2017, Oppelaar i Vogt 2019].

Choroby nerek stanowią coraz większy problem zdrowotny – zarówno w Polsce, jak i na świecie. Choć przez długi czas mogą przebiegać bezobjawowo, ich skutki bywają poważne i trudne do odwrócenia. W populacji ogólnej nie brakuje osób, które zmagają się z niewydolnością nerek, przewlekłą chorobą nerek (PChN) czy innymi zaburzeniami nefrologicznymi – nierzadko wynikającymi z nieprawidłowych nawyków żywieniowych, chorób cywilizacyjnych oraz braku profilaktyki. Stąd coraz większe znaczenie zyskuje edukacja zdrowotna w zakresie wpływu diety na funkcję układu moczowego [Cheungpasitporn i in. 2014, Coe i in. 2005].

Celem niniejszej pracy było przeanalizowanie aktualnej literatury dotyczącej wpływu wybranych składników diety na nerki. Skoncentrowano się na omówieniu zarówno mechanizmów mogących prowadzić do niekorzystnych zmian w ich funkcjonowaniu, jak i potencjalnych zależności między dietą a rozwojem PChN.

¹ Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Klinice Nefrologii UM w Lublinie, ania.maria128@gmail.com

² Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Wydział Lekarski, Katedra i Klinika Nefrologii

Sól i sód

Sód jest nieodzownym składnikiem codziennej diety, najczęściej spożywanym w postaci soli kuchennej. Choć sól dostarcza istotnych makroelementów, międzynarodowe wytyczne zalecają ograniczenie jej spożycia do 5 g na dzień, co odpowiada 2 g sodu [Oppelaar i Vogt 2019, Cirillo i in. 2021].

Mimo że nie wykazano bezpośredniego wpływu wysokiej podaży soli na funkcjonowanie nerek u osób zdrowych, liczne badania sugerują, iż długotrwałe spożywanie produktów bogatych w sód może mieć negatywne konsekwencje. Głównym skutkiem nadmiernej konsumpcji soli jest wzrost ciśnienia tętniczego, co prowadzi do dysfunkcji układu sercowo-naczyniowego i może powodować uszkodzenie nefronów na skutek hiperperfuzji [Oppelaar i Vogt 2019, Barnett i in. 2022]. W badaniu obejmującym ponad 12 000 pacjentów przeanalizowano wpływ długotrwałej diety wysokosodowej na ryzyko dysfunkcji nerek. Autorzy doszli do wniosku, że zwiększona podaż soli w diecie może przyspieszać zależną od wieku dysfunkcję nerek, a ryzyko ich uszkodzenia wzrasta o 4,5% z każdym dodatkowym gramem soli [Malta i in. 2018, Sugiura i in. 2018]. W badaniach z 2022 r. analizowano efekt *salt loading*, czyli krótkotrwałego, nadmiernego spożycia soli. Wykazano wzrost biomarkerów uszkodzenia nerek, takich jak żelatynaza granulocytów obojętnochłonnych (ang. neutrophil gelatinase-associated lipocalin, NGAL), kreatynina i cystatyna C, oraz spadek poziomu angiotensyny II u osób spożywających nadmierne ilości sodu, co potwierdza potencjalnie szkodliwy wpływ nadmiernego spożycia soli na funkcję nerek [Barnett i in. 2022].

Osoby z PChN są szczególnie narażone na negatywne skutki wysokiej podaży sodu. Ograniczenie spożycia soli może spowolnić progresję choroby, obniżając ciśnienie tętnicze, zmniejszając hiperfiltrację kłębuszkową oraz redukując ryzyko proteinurii [Arcand i in. 2017, Oppelaar i Vogt 2019]. W przebiegu PChN upośledzona zdolność wydalania sodu prowadzi do jego kumulacji w nerkach, co indukuje stan zapalny oraz włóknienie związane z nadprodukcją transformującego czynnika wzrostu β_1 (ang. transforming growth factor β_1 , TGF- β_1) [Oppelaar i Vogt 2019, Borrelli i in. 2020]. Nadmiar sodu w organizmie może również indukować apoptozę komórek nerkowych w wyniku zwiększonej produkcji reaktywnych form tlenu (ang. reactive oxygen species, ROS) oraz pogorszenie natlenowania tkanek na skutek zaburzeń w produkcji tlenu azotu i zmian naczyniowych [Oppelaar i Vogt 2019].

Cukier i słodziki

Współczesna dieta charakteryzuje się wysokim spożyciem cukrów, szczególnie w postaci słodczy oraz napojów słodzonych, a nadmierna konsumpcja cukru jest powiązana z wieloma schorzeniami, w tym otyłością, cukrzycą typu 2 oraz chorobami sercowo-naczyniowymi. Wpływ cukru na funkcjonowanie nerek jest tematem, który wymaga szczególnej uwagi [Cheungpasitporn i in. 2014].

Wiele badań wskazuje na negatywny wpływ zarówno cukru, jak i sztucznych słodzików na funkcję nerek [Lo i in. 2021]. Metaanaliza najnowszych badań epidemiologicznych wykazała, że osoby spożywające więcej napojów słodzonych cukrem mają o 30% wyższe ryzyko rozwoju PChN w porównaniu z osobami spożywającymi ich mniej. Podobne zależności zaobserwowano w przypadku napojów słodzonych sztucznie – w tej grupie ryzyko PChN wzrastało o 40% [Lo i in. 2021, Diaz i in. 2023]. Ponadto cukry proste zawarte w napojach mogą sprzyjać wzrostowi masy ciała, co jest jednym z kluczowych czynników ryzyka PChN [Gonzalez-Palacios i in. 2019].

Należy również uwzględnić wpływ przewlekłej hiperglikemii, charakterystycznej dla cukrzycy, na funkcjonowanie nerek. Utrzymujące się wysokie stężenie glukozy we krwi prowadzi do nieenzymatycznej glikacji białek i lipidów, co przyczynia się do uszkodzenia drobnych naczyń krwionośnych w nerkach. Proces ten jest głównym mechanizmem prowadzącym do mikroangiopatii, które mogą skutkować cukrzycową chorobą nerek. Ryzyko jej wystąpienia wzrasta wraz ze wzrostem stopnia hiperglikemii oraz czasem jej trwania, co podkreśla znaczenie właściwej kontroli poziomu cukru we krwi w profilaktyce nefropatii cukrzycowej [Sapra i Bhandari 2025].

Fosforany

Stanowią istotny składnik diety, a ich największe ilości występują w produktach pochodzenia zwierzęcego, takich jak nabiał, mięso, ryby i jaja. Znaczące ilości zawierają także warzywa, orzechy i nasiona [Vervloet i van Ballegooijen 2018].

Długotrwale nadmierne spożywanie fosforanów prowadzi do hiperfosfatemii, co skutkuje aktywacją mechanizmów homeostatycznych organizmu, takich jak wzmożone wydalanie fosforanów przez nerki. Proces ten może przyczynić się do postępującego ich uszkodzenia wskutek odkładania się fosforanu wapnia w kanalikach nerkowych, co sprzyja stanom zapalnym i upośledza funkcję filtracyjną [Rubio-Aliaga i Krapf 2022]. Podwyższony poziom fosforanów we krwi jest również silnie powiązany ze zwiększoną zachorowalnością na choroby sercowo-naczyniowe oraz z wyższym ryzykiem śmiertelności. W związku z tym kontrolowanie ich podaży jest kluczowe, zwłaszcza u pacjentów z obniżoną funkcją nerek oraz podwyższonym ryzykiem schorzeń sercowo-naczyniowych [Blaine i in. 2015, Rubio-Aliaga i Krapf 2022].

Wapń

Wapń jest pierwiastkiem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania m.in. układu nerwowego, pracy serca oraz procesów krzepnięcia krwi [Cormick i Belizán 2019, Razzaque i Wimalawansa 2025]. Zalecana dzienna dawka dla dorosłych wynosi 1000–1300 mg, a jego głównymi źródłami są produkty mleczne, orzechy, nasiona oraz niektóre warzywa [Cormick i Belizán 2019].

Mimo że w diecie Polaków częściej występuje niedobór wapnia, jego nadmiar również bywa szkodliwy i może prowadzić do zespołu wapniowo-alkalicznego, zaburzającego funkcję nerek [Górriz Pintado i in. 2024]. Hiperkalcemia wywiera niekorzystny wpływ na funkcję nerek, prowadząc do odwodnienia oraz zaburzeń filtracji kłębuszkowej. Skurcz tętniczki doprowadzającej powoduje redukcję przepływu nerkowego i obniżenie wskaźnika filtracji kłębuszkowej (ang. glomerular filtration rate, GFR), co ogranicza wydalanie wapnia. Dodatkowo dochodzi do dysfunkcji kanalików nerkowych, skutkującej nasilonym wydalaniem sodu i chlorków. Obniżona ekspresja akwaporyn typu II w kanalikach zbiorczych przyczynia się do wzmożonej diurezy. Ponadto aktywacja układu renina–angiotensyna–aldosteron prowadzi do retencji sodu oraz zwiększonej reabsorpcji wapnia w kanalikach proksymalnych, co nasila zaburzenia homeostazy elektrolitowej [Tonon i in. 2022]. Przewlekła hiperkalcemia może prowadzić także do rozwoju kamicy nerkowej, która jest ściśle związana ze zwiększonym ryzykiem rozwoju PChN oraz jej progresją do zaawansowanych stadiów [Siener 2021, Tonon i in. 2022].

Szczawiany

Szczawiany to związki pochodzenia roślinnego oraz końcowe produkty metabolizmu. Występują w wielu produktach spożywczych, a ich nadmierne spożycie może prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, zwłaszcza w kontekście funkcjonowania nerek [Bargagli i in. 2020]. Do produktów o wysokiej zawartości szczawianów należą szpinak, szczaw oraz rabarbar [Siener i in. 2020].

Kamica nerkowa jest jedną z najczęstszych chorób układu moczowego, a ok. 80% kamieni nerkowych składa się z nierozpuszczalnego szczawianu wapnia [Coe i in. 2005]. Szczawiany mogą łączyć się z wapniem już w świetle jelita. W przypadku jego niedoboru są wchłaniane do krwi, a następnie filtrowane przez nerki, gdzie mogą krystalizować w moczu i prowadzić do powstawania złożeń [Holmes i in. 2001, Mitchell i in. 2019]. Hiperoksaluria, czyli nadmierne wydalanie szczawianów z moczem, jest jednym z głównych czynników ryzyka kamicy nerkowej i może predysponować do ostrego uszkodzenia nerek oraz przyspieszonego rozwoju PChN [Waikar i in. 2019].

Potas

Potas jest niezbędnym makroelementem, a jego rekomendowane dzienne spożycie wynosi 3500–4500 mg, co pozwala utrzymać optymalny poziom osoczowy w zakresie 3,5–5,5 mmol/l [Burnier 2020, McLean i Wang 2021, Wieërs i in. 2022, Kim i in. 2023]. Zalecane jest spożywanie produktów bogatych w potas, jak banany, bakalie, pieczone ziemniaki, nabiał, mięso, zboża oraz ryby [Picard i in. 2020, McLean i Wang 2021].

Niedobór potasu prowadzi do hipokaliemii, która może zaburzać funkcję nerek w wyniku nasilenia mechanizmów konserwacji potasu, zwiększonej aktywacji kotransportera chlorkowo-sodowego oraz destabilizacji homeostazy elektrolitowej, co skutkuje nadciśnieniem tętniczym oraz może powodować rozpad akwaporyn typu II, indukując

moczówkę prostą [Wei i in. 2020, Wieërs i in. 2022]. Dodatkowo w przypadku hipokaliemii można odnotować zwiększoną masę nerek, co jest związane z lokalną nadekspresją białek wiążących insulinopodobny czynnik wzrostu, które zatrzymują go w komórkach nerek, powodując ich hiperplazję [Wei i in. 2020, Wieërs i in. 2022]. Wartości osoczo-
wego potasu $>5,5$ mmol/l mogą mieć negatywny wpływ na funkcjonowanie nerek [Wei i in. 2020], np. wywołać bradykardię i w konsekwencji hipoperfuzję nerkową powiazaną z zastojem nerkowym, obniżając funkcję nerek oraz zwiększając ryzyko powikłań miażdżycowych i rozwoju PChN [Picard i in. 2020].

Białko

Białko jest kluczowym składnikiem diety, niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Zalecana dzienna dawka wynosi 0,8 g/kg masy ciała dla dorosłych, 1,5 g/kg dla dzieci oraz 1 g/kg dla młodzieży [Huecker i in. 2019, Putra i in. 2021]. Główne źródła białka to mięso, nabiał, jaja, rośliny strączkowe, produkty zbożowe oraz orzechy [Wu 2016].

Dieta wysokobiałkowa, definiowana jako spożycie $>1,2$ g/kg masy ciała na dzień, wpływa na funkcję nerek w wyniku zwiększenia przepływu krwi i wzrostu ciśnienia wewnątrzkrębuszkowego. Skutkuje to wzrostem współczynnika filtracji krębuszkowej i bardziej efektywnym wydalaniem azotowych produktów przemiany materii pochodzących z białek. Zwiększenie ciśnienia i przepływu wewnątrzkrębuszkowego może jednak przyczyniać się do postępującego uszkodzenia krębuszków oraz ich stwardnienia. Ponadto dieta wysokobiałkowa sprzyja wzrostowi masy i objętości nerek [Ko i in. 2017]. Osoby z PChN, pacjenci posiadający jedną nerkę lub znajdujący się w grupie ryzyka powinni ograniczać spożycie białka, aby nie obciążać nadmiernie nerek [Kim i Jung 2020, Ko i in. 2020].

Podsumowanie

Dieta ma istotny wpływ na funkcjonowanie nerek, a spożycie poszczególnych składników odżywczych może sprzyjać zarówno ochronie, jak i uszkodzeniu tych narządów, o czym niejednokrotnie nie pamiętamy, sięgając po dobrze znane produkty spożywcze. Nadmierna podaż soli oraz cukrów wiąże się ze wzrostem ryzyka nadciśnienia tętniczego, hiperglikemii oraz zaburzeń metabolicznych, które mogą prowadzić do PChN. Fosforany i szczawiany zwiększają ryzyko kamicy nerkowej, a nadmiar wapnia przyczynia się do hiperkalcemii i uszkodzenia nerek. Odpowiednia dieta stanowi istotny element profilaktyki chorób nerek. Edukacja w zakresie zdrowych nawyków żywieniowych jest kluczowa zarówno dla osób zdrowych, jak i pacjentów z obciążeniem nefrologicznym. Dalsze badania są konieczne, aby określić optymalne zalecenia dietetyczne dla osób z grupy ryzyka chorób nerek.

Bibliografia

- Arcand J., Wong M.M.Y., Santos J.A., Leung A.A., Trieu K., Thout S.R., Webster J., Campbell N.R.C., 2017. More evidence that salt increases blood pressure and risk of kidney disease from the Science of Salt: a regularly updated systematic review of salt and health outcomes (April–July 2016). *J. Clin. Hypertens.* 19(8), 813–823, <https://doi.org/10.1111/jch.13049>.
- Bargagli M., Tio M.C., Waikar S.S., Ferraro P.M., 2020. Dietary oxalate intake and kidney outcomes. *Nutrients* 12(9), 2673, <https://doi.org/10.3390/nu12092673>.
- Barnett A.M., Babcock M.C., Watso J.C., Migdal K.U., Gutiérrez O.M., Farquhar W.B., Robinson A.T., 2022. High dietary salt intake increases urinary NGAL excretion and creatinine clearance in healthy young adults. *Am. J. Physiol. Renal. Physiol.* 322(4), F392–F402, <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00240.2021>.
- Blaine J., Chonchol M., Levi M., 2015. Renal control of calcium, phosphate, and magnesium homeostasis. *Clin. J. Am. Soc. Nephrol.* 10(7), 1257–1272, <https://doi.org/10.2215/CJN.09750913>.
- Borrelli S., Provenzano M., Gagliardi I., Michael A., Liberti M.E., De Nicola L., Conte G., Garofalo C., Andreucci M., 2020. Sodium intake and chronic kidney disease. *Int. J. Mol. Sci.* 21(13), 4744, <https://doi.org/10.3390/ijms21134744>.
- Burnier M., 2020. Increasing potassium intake to prevent kidney damage: a new population strategy? *Kidney Int.* 98(1), 59–61, <https://doi.org/10.1016/j.kint.2020.04.014>.
- Cirillo M., Bilancio G., Cavallo P., Palladino R., Terradura-Vagnarelli O., Laurenzi M., 2021. Sodium intake and kidney function in the general population: an observational, population-based study. *Clin. Kidney J.* 14(2), 647–655, <https://doi.org/10.1093/ckj/sfaa158>.
- Cheungpasitporn W., Thongprayoon C., O’Corragain O.A., Edmonds P.J., Kittanamongkolchai W., Erickson S.B. 2014. Soda and chronic kidney disease. *Nephrology* 19, 791–797, <https://doi.org/10.1111/nep.12343>.
- Coe F.L., Evan A., Worcester E., 2005. Kidney stone disease. *J. Clin. Invest.* 115(10), 2598–2608, <https://doi.org/10.1172/JCI26662>.
- Cormick G., Belizán J.M., 2019. Calcium intake and health. *Nutrients* 11(7), 1606, <https://doi.org/10.3390/nu11071606>.
- Diaz C., Rezende L.F.M., Sabag A., Lee D.H., Ferrari G., Giovannucci E.L., Rey-Lopez J.P., 2023. Artificially sweetened beverages and health outcomes: an umbrella review. *Adv. Nutr.* 14(4), 710–717, <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2023.05.010>.
- Gonzalez-Palacios S., Navarrete-Muñoz E.M., García-de-la-Hera M., Torres-Collado L., Santa-Marina L., Amiano P., Lopez-Espinosa M.J., Tardon A., Riano-Galan I., Vrijheid M., Sunyer J., Vioque J., 2019. Sugar-containing beverages consumption and obesity in children aged 4–5 years in Spain: the INMA Study. *Nutrients* 11(8), 1772, <https://doi.org/10.3390/nu11081772>.
- Górriz Pintado S., Vilchez Rodríguez A., De La Fuente García F., Estela Burriel P.L., 2024. Calcium-alkali syndrome: a rare cause of hypercalcemia? *Rev. Osteoporos. Metab. Miner.* 16(1), 28–31, <https://doi.org/10.20960/RevOsteoporosMetabMiner.00037>.
- Holmes R.P., Goodman H.O., Assimos D.G., 2001. Contribution of dietary oxalate to urinary oxalate excretion. *Kidney Int.* 59(1), 270–276, <https://doi.org/10.1046/j.1523-1755.2001.00488.x>.
- Huecker M., Sarav M., Pearlman M., Laster, J., 2019. Protein Supplementation in sport: source, timing, and intended benefits. *Curr. Nutr. Rep.* 8(4), 382–396, <https://doi.org/10.1007/s13668-019-00293-1>.
- Kim M.J., Valerio C., Knobloch G.K., 2023. Potassium disorders: hypokalemia and hyperkalemia. *Am. Fam. Physician.* 107(1), 59–70A.
- Kim S.M., Jung J.Y., 2020. Nutritional management in patients with chronic kidney disease. *Korean J. Intern. Med.* 35(6), 1279–1290, <https://doi.org/10.3904/kjim.2020.408>.

- Ko G.J., Obi Y., Tortorici A.R., Kalantar-Zadeh K., 2017. Dietary protein intake and chronic kidney disease. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* 20(1), 77–85, <https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000342>.
- Ko G.J., Rhee C.M., Kalantar-Zadeh K., Joshi S., 2020. The effects of high-protein diets on kidney health and longevity. *J. Am. Soc. Nephrol.* 31(8), 1667–1679, <https://doi.org/10.1681/ASN.2020010028>.
- Lo W.C., Ou S.H., Chou C.L., Chen J.S., Wu M.Y., Wu M.S., 2021. Sugar- and artificially-sweetened beverages and the risks of chronic kidney disease: a systematic review and dose-response meta-analysis. *J. Nephrol.* 34(6), 1791–1804, <https://doi.org/10.1007/s40620-020-00957-0>.
- Malta D., Petersen K.S., Johnson C., Trieu K., Rae S., Jefferson K., Santos J.A., Wong M.M.Y., Raj T.S., Webster J., Campbell N.R.C., Arcand J., 2018. High sodium intake increases blood pressure and risk of kidney disease. From the Science of Salt: a regularly updated systematic review of salt and health outcomes (august 2016 to march 2017). *J. Clin. Hypertens.* 20(12), 1654–1665, <https://doi.org/10.1111/jch.13408>.
- McLean R.M., Wang N.X., 2021. Potassium. *Adv. Food Nutr. Res.* Muncie 96, 89–121, <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2021.02.013>.
- Mitchell T., Kumar P., Reddy T., Wood K.D., Knight J., Assimos D.G., Holmes R.P., 2019. Dietary oxalate and kidney stone formation. *Am J Physiol Renal Physiol.* 316(3), F409–F413, <https://doi.org/10.1152/ajprenal.00373.2018>.
- Oppelaar J.J., Vogt L., 2019. Body fluid-independent effects of dietary salt consumption in chronic kidney disease. *Nutrients* 11(11), 2779, <https://doi.org/10.3390/nu11112779>.
- Picard K., Barreto Silva M.I., Mager D., Richard C., 2020. Dietary potassium intake and risk of chronic kidney disease progression in predialysis patients with chronic kidney disease: a systematic review. *Adv. Nutr.* 11(4), 1002–1015, <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa027>.
- Putra C., Konow N., Gage M., York C.G., Mangano K.M., 2021. Protein source and muscle health in older adults: a literature review. *Nutrients* 13(3), 743, <https://doi.org/10.3390/nu13030743>.
- Razzaque M.S., Wimalawansa S.J., 2025. Minerals and human health: from deficiency to toxicity. *Nutrients* 17(3), 454, <https://doi.org/10.3390/nu17030454>.
- Rubio-Aliaga I., Krapf R., 2022. Phosphate intake, hyperphosphatemia, and kidney function. *Pflügers Arch.* 474(8), 935–947, <https://doi.org/10.1007/s00424-022-02691-x>.
- Sapra A., Bhandari P., 2025. Diabetes. StatPearls Publishing, Treasure Island.
- Siener R., 2021. Nutrition and kidney stone disease. *Nutrients* 13(6), 1917, <https://doi.org/10.3390/nu13061917>.
- Siener R., Seidler A., Hönow R., 2020. Oxalate-rich foods. *Food Sci. Technol.* 41(suppl 1), 169–173, <https://doi.org/10.1590/fst.10620>.
- Sugiura T., Takase H., Ohte N., Dohi Y., 2018. Dietary salt intake is a significant determinant of impaired kidney function in the general population. *Kidney Blood Press. Res.* 43(4), 1245–1254, <https://doi.org/10.1159/000492406>.
- Tonon C.R., Silva T.A.A.L., Pereira F.W.L., Queiroz D.A.R., Favero Jr E.L., Martins D., Azevedo P.S., Okoshi M.P., Zomoff L.A.M., de Paiva S.A.R., Minicucci M.F., Polegato B.F., 2022. A review of current clinical concepts in the pathophysiology, etiology, diagnosis, and management of hypercalcemia. *Med. Sci. Monitor* 28, e935821, <https://doi.org/10.12659/MSM.935821>.
- Vervloet M.G., van Ballegooijen A.J., 2018. Prevention and treatment of hyperphosphatemia in chronic kidney disease. *Kidney Int.* 93(5), 1060–1072, <https://doi.org/10.1016/j.kint.2017.11.036>.
- Waikar S.S., Srivastava A., Palsson R., Shafi T., Hsu C.-Y., Sharma K., Lash J.P., Chen J., He J., Lieske J., Xie D., Zhang X., Feldman H.I., Curhan G.C., 2019. Association of urinary oxalate excretion with the risk of chronic kidney disease progression. *JAMA Intern. Med.* 179(4), 542–551, <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2018.7980>.

- Wei K.Y., Gritter M., Vogt L., de Borst M.H., Rotmans J.I., Hoorn E.J., 2020. Dietary potassium and the kidney: lifesaving physiology. *Clin. Kidney J.* 13(6), 952–968, <https://doi.org/10.1093/ckj/sfaa157>.
- Wieërs M.L.A.J., Mulder J., Rotmans J.I., Hoorn E.J., 2022. Potassium and the kidney: a reciprocal relationship with clinical relevance. *Pediatr. Nephrol.* 37(10), 2245–2254, <https://doi.org/10.1007/s00467-022-05494-5>.
- Wu G., 2016. Dietary protein intake and human health. *Food Funct.* 7(3), 1251–1265, <https://doi.org/10.1039/c5fo01530h>.

Julia Pachocka¹, Oktawia Wojtaszek¹, Agata Szymczak¹, Anna Szymaszek¹,
Jose Luis Valverde Piedra^{ID2}, Sylwia Szymańczyk^{ID3}

Białka serwatkowe: właściwości, zastosowania i potencjalne korzyści zdrowotne

Whey proteins: properties, applications, and potential health benefits

Wstęp

Białka (ang. whey protein, WP) to pełnowartościowe, wysoko biodostępne związki białkowe, charakteryzujące się korzystnym profilem aminokwasowym, w szczególności wysoką zawartością leucyny i cysteiny. Dzięki szybkiemu wchłanianiu i wysokiej wartości biologicznej znajdują zastosowanie zarówno w dietetyce ludzi, jak i zwierząt, a dzięki swoim właściwościom anabolicznym, antyoksydacyjnym i immunomodulującym wspomagają procesy metaboliczne, regeneracyjne oraz odpornościowe, jednocześnie korzystnie wpływając na mikroflorę jelitową i przeciwdziałając zaburzeniom neuroimmunologicznym. Pozyskiwane są z serwatki, produktu ubocznego przemysłu serowarskiego, a następnie przetwarzane metodami membranowymi do koncentratów WP (ang. whey protein complex, WPC) i izolatów WP (ang. whey protein isolate, WPI), cechujących się wysoką zawartością białka oraz niską zawartością laktozy i tłuszczu. Obecnie stanowią ceniony składnik suplementów diety i produktów funkcjonalnych. W żywieniu zwierząt pełnią funkcję wartościowego dodatku paszowego, poprawiającego wykorzystanie paszy i tempo wzrostu, wspierając jednocześnie dobrostan i efektywność produkcyjną.

Celem niniejszej pracy był przegląd aktualnych danych dotyczących właściwości biologicznych WP, ich wpływu na zdrowie i metabolizm u ludzi i zwierząt, zastosowań w dietach specjalistycznych oraz potencjalnych działań niepożądanych wynikających z ich nadmiernej podaży.

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Międzywydziałowe Studenckie Koło Naukowe Fizjologów, Sekcja Procesów Regulacyjnych i Fizjologii Narządowej, pachockajulia8@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Katedra Farmakologii, Toksykologii i Ochrony Środowiska

³ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Katedra Fizjologii Zwierząt

Skład frakcyjny i metody otrzymywania

Białka serwatkowe powstają jako produkt uboczny procesu koagulacji mleka podczas produkcji serów, w wyniku którego oddziela się skrzep kazeinowy od frakcji płynnej – serwatki, która stanowi 85–95% objętości mleka i zawiera większość jego składników odżywczych, w tym laktozę, witaminy, minerały, niewielkie ilości tłuszczu oraz białka i peptydy o wysokiej wartości biologicznej. Do głównych białek serwatkowych należą β -laktoglobulina (ok. 50%) i α -laktoalbumina (ok. 20%), charakteryzujące się korzystnym profilem aminokwasowym, bogatym w aminokwasy egzogenne, zwłaszcza aminokwasy rozgałęzione (ang. branched-chain amino acids, BCAA) i tryptofan. Oprócz nich serwatka zawiera mniejsze ilości glikomakropeptydu (ang. glycomacropeptide, GMP), albuminy surowicy bydlęcej (ang. bovine serum albumin, BSA), immunoglobulin, laktoferryiny i laktoperoksydazy. Do koncentracji białek serwatkowych stosuje się techniki membranowe, takie jak ultrafiltracja i nanofiltracja, prowadzące do otrzymania WPC oraz WPI o wysokiej zawartości białka i zredukowanej ilości laktozy oraz tłuszczu. Dalszą ich modyfikację umożliwia enzymatyczna hydroliza, dająca hydrolizat WP (ang. whey protein hydrolysate, WPH) o podwyższonej strawności, biodostępności i obniżonym potencjale alergennym [Irazoqui i in. 2024].

Przyrost masy mięśniowej

Białka serwatkowe należą do najbardziej biodostępnych źródeł białka o wysokim stopniu rozpuszczalności i zawartości aminokwasów egzogennych, w tym leucyny – kluczowego czynnika aktywującego szlak mTOR (ang. mammalian target of rapamycin), odpowiedzialnego za inicjację syntezy białek mięśniowych (ang. muscle protein synthesis, MPS). Ich spożycie, szczególnie w okresie okołotreningowym, sprzyja nasileniu MPS oraz ograniczeniu proteolizy mięśniowej, co korzystnie wpływa na adaptacje treningowe oraz gospodarkę azotową. Metaanaliza Daviesa i współautorów [2018] wykazała umiarkowany efekt suplementacji WP w kontekście regeneracji powysiłkowej. Duże znaczenie przypisuje się zarówno dawce, jak i czasowi przyjmowania WP, przy czym optymalny efekt anaboliczny obserwuje się po podaży bezpośrednio przed wysiłkiem fizycznym lub po jego zakończeniu. Autorzy sugerują istnienie progowej dawki WP, której przekroczenie nie przynosi dalszych korzyści w zakresie wzrostu masy mięśniowej.

Metabolizm kostny i sarkopenia

Diety wysokobiałkowe były niegdyś związane z hiperkalciurią i zwiększonym ryzykiem osteoporozy [Barzel i Massey 1998], jednak nowsze badania wskazują, że WP mogą wspierać zdrowie układu mięśniowo-szkieletowego. Odgrywają również istotną rolę w prewencji sarkopenii, szczególnie u osób starszych, przyczyniając się do wzrostu masy i siły mięśniowej, zwłaszcza w połączeniu z treningiem oporowym [Kerstetter i in. 2015].

Chociaż spożycie WP może zwiększać wydalanie wapnia i obniżać pH moczu, nie stwierdzono jego negatywnego wpływu na stan kości u kobiet po menopauzie [Zhu i in. 2011].

Funkcje wątroby i nerek

Ze względu na wysoką aktywność biologiczną WP znajdują zastosowanie w diecie ludzi i zwierząt, jednak ich wpływ na funkcję narządów miękkich, takich jak wątroba i nerki, pozostaje kwestią wymagającą ostrożnej oceny. Wątroba, jako główny narząd metabolizujący aminokwasy, odpowiada za ich przemiany anaboliczne i energetyczne, a produktem katabolizmu jest mocznik, usuwany przez nerki [Cava i in. 2024]. W badaniach klinicznych wykazano korzystny wpływ spożycia WP przez pacjentów z niealkoholowym stłuszczeniem wątroby (ang. nonalcoholic steatohepatitis, NASH), objawiający się redukcją stłuszczenia hepatocytów i stresu oksydacyjnego [Chitapanarux i in. 2009]. Jednak inne doniesienia wskazują na ryzyko wzrostu aktywności enzymów wątrobowych – aminotransferazy alaninowej (ALT) i aminotransferaza asparaginianowa (AST) – u osób suplementujących WP bez odpowiedniego wsparcia aktywnością fizyczną, co może sugerować przeciążenie metaboliczne wątroby [Nhean i in. 2023]. Podobnie zwiększona podaż białka prowadzi do wzrostu syntezy mocznika oraz przesączania kłębuszkowego (ang. glomerular filtration rate, GFR), co obserwuje się jako fizjologiczną odpowiedź nerek na dietę wysokobiałkową [West i in. 2017]. U osób starszych z sarkopenią suplementacja WP może poprawiać parametry filtracyjne, jednak badania na modelach zwierzęcych sugerują, że długotrwała ekspozycja na nadmiar białka może skutkować przerostem nerek, wzmożonym wydalaniem wapnia z moczem oraz obniżeniem poziomu cytrynianu – zmianami uznawanymi za wczesne wskaźniki dysfunkcji nerek [Aparicio i in. 2011]. Choć niektóre źródła podkreślają adaptacyjny charakter tych zmian u osób zdrowych, suplementacja WP powinna być stosowana z rozwagą u pacjentów z kamicą nerkową oraz przyjmujących leki o działaniu nefrotoksycznym ze względu na możliwość modyfikacji parametrów litogenicznych i metabolizmu mineralnego [Hattori i in. 2017].

Przewód pokarmowy i mikrobiota jelitowa

Dzięki zawartości bioaktywnych składników, takich jak peptydy, laktoferyna oraz aminokwasy siarkowe, WP wykazują istotne działanie prozdrowotne w obrębie przewodu pokarmowego. W modelach doświadczalnych suplementacja WP przyczyniała się do poprawy struktury błony śluzowej jelita cienkiego, zwiększenia powierzchni chłonnej oraz stymulacji regeneracji enterocytów, a także modulacji produkcji insuliny i niektórych hormonów żołądkowo-jelitowych, takich jak cholecystokinina (CCK), peptyd YY (PYY) i grelina, co prowadziło do wzrostu efektywności procesów trawienia i wchłaniania [Wróblewska i in. 2018]. Dodatkowo WP stymulują wydzielanie glukagonopodobnego peptydu-2 (GLP-2), który pełni funkcję troficzną wobec błony śluzowej jelita. Obserwowane

nasilenie jego działania może wynikać z obniżonej aktywności enzymu dipeptydylopeptydazy-IV (DPP-IV), co skutkuje wydłużeniem okresu półtrwania GLP-2 i zwiększeniem jego biodostępności. W konsekwencji WP wspierają adaptacyjne mechanizmy jelitowe, poprawiając morfologię ściany jelita oraz zdolności trawienne, szczególnie w warunkach atrofii błony śluzowej [Liu i in. 2009].

Jednocześnie WP wykazują zdolność modulowania mikrobioty jelitowej – wpływają na zwiększenie liczebności bakterii prozdrowotnych z rodzajów *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* oraz typu *Firmicutes* przy równoległej regulacji populacji *Proteobacteria* [Meddah i in. 2001]. Zmiany te przyczyniają się do wzrostu różnorodności mikrobiologicznej, wspierają metabolizm lipidów oraz stymulują produkcję krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych (ang. short-chain fatty acids, SCFA), w tym maślanu – metabolitu o udokumentowanym działaniu przeciwzapalnym i epigenetycznym [Jones Severino Vasconcelos i in. 2024]. Suplementacja WP wpływa również na poprawę integralności bariery jelitowej, zmniejszając jej przepuszczalność i ograniczając translokację mediatorów prozapalnych do krążenia ogólnoustrojowego. Obserwowano także redukcję lokalnych markerów zapalnych, co może być związane z aktywacją układu GALT (ang. gut-associated lymphoid tissue) oraz wspieraniem homeostazy immunologicznej [Wróblewska i in. 2018].

W warunkach otyłości WP wykazują dodatkowe działanie przeciwzapalne, redukując poziomy cytokin zapalnych (np. MCP-1) oraz obniżając ekspresję genu *ob* i stężenie leptyny w osoczu. Efekty te mogą przyczyniać się do korzystnej modulacji apetytu, masy ciała oraz parametrów metabolicznych [Boscaini i in. 2021].

Oś jelitowo-mózgowa i funkcje neuroimmunologiczne

Tryptofan, obecny w białkach zwierzęcych, pełni funkcję prekursora serotoniny, a jego dostępność w ośrodkowym układzie nerwowym (OUN) może być modulowana przez konkurencyjne wchłanianie BCAA. Wysokie spożycie białka, w tym WP, może ograniczać transport tryptofanu do mózgu, wpływając negatywnie na syntezę serotoniny. Jednak obecna w WP frakcja α -laktoalbuminy przejawia zdolność do zwiększania stężenia tryptofanu w osoczu, co sprzyja poprawie nastroju i jakości snu. Ponadto WP wykazują właściwości redukujące zmęczenie oraz wspierające regenerację fizyczną [Thomson i in. 2011]. Mogą również korzystnie wpływać na funkcje poznawcze i neuroprotektoryjne [Kita i in. 2018]. Coraz więcej danych wskazuje na istotne działanie immunomodulujące WP, szczególnie w kontekście nowotworów i współwystępujących zaburzeń psychicznych. Badania na modelu myszy z rakiem piersi wykazały, że suplementacja WPI wzbogaconym o tryptofan łagodzi objawy depresyjne i moduluje odpowiedź zapalną dzięki regulacji ekspresji cytokin oraz wzmocnieniu aktywności glutationu (GSH) [Xia i in. 2023]. Zauważono również, że WP wpływają na metabolizm tryptofanu w obrębie osi jelitowo-mózgowej, co może wynikać pośrednio z modulacji składu mikrobioty. Suplementacja WP zwiększała ekspresję genów zaangażowanych w syntezę serotoniny (5-HT) w hipokampie oraz redukowała reakcje zapalne, co może przekładać się na efekt neuroprotektoryjny i przeciwdepresyjny.

Potencjał antyoksydacyjny

Białka serwatkowe, oprócz funkcji odżywczych, wykazują aktywność biologiczną, w tym właściwości antyoksydacyjne. W badaniach *in vivo* wykazano, że serwatka pochodzenia owczego i koziego charakteryzuje się zdolnością neutralizacji wolnych rodników oraz działaniem cytoprotekcyjnym wobec komórek narażonych na stres oksydacyjny, co może mieć znaczenie w prewencji chorób nowotworowych i sercowo-naczyniowych [Kerasioti i in. 2018]. Za efekt ten odpowiada wysoka zawartość aminokwasów siarkowych, szczególnie cysteiny i metioniny, będących prekursorami syntezy GSH. U gryzoni suplementacja WP skutkowała wzrostem stężenia GSH w erytrocytach i wątrobie oraz obniżeniem poziomu markerów stresu oksydacyjnego (TBARS, karbonyły białkowe) w wątrobie, mózgu i mięśniach. Jednocześnie odnotowano zmniejszenie aktywności katalazy (CAT), co może świadczyć o zmniejszonym zapotrzebowaniu na enzymatyczne mechanizmy obronne przy wyższym poziomie GSH.

Potencjalne skutki uboczne nadmiernej suplementacji

Pomimo udokumentowanych korzyści zdrowotnych nadmierna suplementacja WP może wiązać się z niepożądanymi konsekwencjami metabolicznymi, immunologicznymi i zaburzeniami funkcji przewodu pokarmowego, tym bardziej że suplementy diety nie są zatwierdzane przez Agencję Żywności i Leków (ang. Food and Drug Administration, FDA) i mogą zawierać niebezpieczne, niezadeklarowane składniki [Tucker i in. 2018]. Skutki te są szczególnie istotne u osób prowadzących siedzący tryb życia, u których wysokie spożycie WP może prowadzić do przeciążenia metabolicznego. W badaniach na zwierzętach wykazano, że długotrwała suplementacja WP może indukować toksyczność wątrobową, aktywację szlaków apoptotycznych oraz nasilenie procesów zapalnych [Gürgen i in. 2015]. U ludzi obserwowano jedynie łagodne zmiany w markerach funkcji wątroby (AST, mocznik). Nadmierna podaż białek pochodzenia zwierzęcego, w tym WP, może zwiększać ryzyko rozwoju cukrzycy typu 2, stymulować syntezę insulinopodobnego czynnika wzrostu (IGF-1) i prowadzić do zaburzeń skórnych, takich jak trądzik. Białka serwatkowe wpływają także na skład mikrobioty jelitowej, zwiększając udział bakterii z rodzaju *Bacteroides*, co może destabilizować homeostazę mikroflory [Moreno-Pérez i in. 2018]. U osób na diecie wysokobiałkowej odnotowano wzrost tendencji do zachowań agresywnych [Santos i in. 2011]. U osób starszych, mimo roli WP w prewencji sarkopenii, obserwuje się zwiększone wydalanie wapnia z moczem, co może negatywnie oddziaływać na metabolizm kostny. W świetle dowodów długotrwałe i nadmierne spożycie WP może prowadzić do dysbiozy, przeciążenia metabolicznego oraz zaburzeń równowagi immunologicznej, wpływa również na funkcjonowanie wątroby, nerek i serca, zwiększając ryzyko chorób sercowo-naczyniowych. Białka serwatkowe, jako potencjalne alergeny, mogą wywoływać odpowiedź immunologiczną. W badaniach wykazano ich wysokie powinowactwo do przeciwciał anty- α -laktoalbuminy i anty- β -laktoglobuliny. Dodatkowo reakcje krzyżowe z frakcjami kazeiny mogą intensyfikować odpowiedź immunologiczną. W badaniach *in vitro* zaobserwowano wzmoczoną proliferację limfocytów u gryzoni suplementowanych WP, co sugeruje rozwój reakcji zapalnych i zaburzeń odporności [Wróblewska i in. 2018].

Żywnienie zwierząt

Wysoka intensywność produkcji zwierzęcej generuje szereg wyzwań zdrowotnych, w tym wzrost zachorowalności, konieczność stosowania leków weterynaryjnych oraz skrócenie długości życia zwierząt. Kluczową rolę w utrzymaniu zdrowia i dobrostanu odgrywa żywienie. Zbilansowana dieta wspiera rozwój, funkcjonowanie układu odpornościowego oraz ogranicza ryzyko chorób wieloczynnikowych. Serwatka stanowi cenne źródło składników odżywczych (laktoza, białka, minerały) i może być wykorzystywana jako komponent paszowy w różnych formach (płynna, zagęszczona, suszona). Suplementacja diet zwierząt serwatką może poprawiać przyrosty masy ciała, stan zdrowia przewodu pokarmowego oraz odporność, m.in. dzięki obecności laktoferyny i czynników wzrostu [D'Alessandro i in. 2022]. Równowaga pomiędzy kazeiną a białkami serwatkowymi wpływa na procesy trawienne oraz aktywność fizjologiczną organizmu. Modyfikacja ich proporcji, jak wykazano w badaniach na modelu myszy, oddziałuje na spożycie pokarmu, aktywację neuronów podwzgórza oraz może redukować potencjał alergenny preparatów mlecznych [Jeong i in. 2021]. Dzięki właściwościom immunomodulującym, antyoksydacyjnym i metabolicznym WP wspierają nie tylko procesy fizjologiczne, ale również ogólny stan zdrowia zwierzęcia.

Podsumowanie

Analiza dostępnych danych naukowych wskazuje, że wpływ WP na organizm człowieka i zwierząt jest istotnie zależny od dawkowania oraz kontekstu fizjologicznego. Odpowiednio zaplanowana suplementacja może przynosić liczne korzyści zdrowotne, szczególnie w zakresie prewencji wybranych jednostek chorobowych oraz wsparcia funkcji metabolicznych, immunologicznych i neurowegetatywnych. Jednocześnie należy podkreślić, że nadmierna podaż WP, zwłaszcza w długim okresie i bez nadzoru dietetycznego, może prowadzić do niepożądanych efektów zdrowotnych. Obserwacje te potwierdzają potrzebę świadomego, spersonalizowanego podejścia do suplementacji WP zarówno w dietetyce klinicznej, jak i żywieniu zwierząt.

Bibliografia

- Aparicio V.A., Nebot E., Porres J.M., Ortega F.B., Heredia J.M., López-Jurado M., Ramírez P.A., 2011. Effects of high-whey-protein intake and resistance training on renal, bone and metabolic parameters in rats. *Brit. J. Nutr.* 105(6), 836–845, <https://doi.org/10.1017/S0007114510004393>.
- Barzel U.S., Massey L.K., 1998. Excess dietary protein can adversely affect bone. *J. Nutr.* 128(6), 1051–1053, <https://doi.org/10.1093/jn/128.6.1051>.
- Boscaini S., Cabrera-Rubio R., Golubeva A., Nychyk O., Fulling C., Speakman J.R., Cotter P., Cryan J., Nilaweera K. 2021. Depletion of the gut microbiota differentially affects the impact of whey protein on high-fat diet-induced obesity and intestinal permeability. *Physiol. Rep.* 9, e14867, <https://doi.org/10.14814/phy2.14867>.

- Cava E., Padua E., Campaci D., Bernardi M., Muthanna F.M.S., Caprio M., Lombardo M., 2024. Investigating the health implications of whey protein consumption: a narrative review of risks, adverse effects, and associated health issues. *Healthcare (Basel)* 12(2), 246 <https://doi.org/10.3390/healthcare12020246>.
- Chitapanarux T., Tienboon P., Pojchamarnwiputh S., Leelarungrayub D., 2009. Open-labeled pilot study of cysteine-rich whey protein isolate supplementation for nonalcoholic steatohepatitis patients. *J. Gastroenterol. Hepat.* 24(6), 1045–1050, <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2009.05865.x>.
- Davies R.W., Carson B.P., Jakeman P.M., 2018. The effect of whey protein supplementation on the temporal recovery of muscle function following resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Nutrients* 10(2), 221, <https://doi.org/10.3390/nu10020221>.
- D'Alessandro E., Arfuso F., Floridia V., Tardiolo G., Fazio F., Giannetto C., Piccione G., Zumbo A., 2022. Different genotype and a liquid whey-supplemented diet influence the resilience of pigs through immune-modulation and anti-inflammatory response. *Front. Vet. Sci.* 9, 1046101, <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1046101>.
- Gürgen S.G., Yücel A.T., Karakuş A.Ç., Çeçen D., Özen G., Koçtürk S., 2015. Usage of whey protein may cause liver damage via inflammatory and apoptotic responses. *Hum. Exp. Toxicol.* 34(7), 769–779, <https://doi.org/10.1177/0960327114556787>.
- Hattori C.M., Tiselius H.G., Heilberg I.P., 2017. Whey protein and albumin effects upon urinary risk factors for stone formation. *Urolithiasis* 45(5), 421–428, <https://doi.org/10.1007/s00240-017-0975-0>.
- Irazaqui J.M., Santiago G.M., Mainez M.E., Amadio A.F., Eberhardt M.F. 2024. Enzymes for production of whey protein hydrolysates and other value-added products. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 108, 354, <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13117-2>.
- Jeong E.W., Park G.R., Kim J., Yun S.Y., Imm J.Y., Lee H.G., 2021. Effect of modified casein to whey protein ratio on dispersion stability, protein quality and body composition in rats. *Food Sci. Anim. Res.* 41(5), 855–868, <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e42>.
- Jones Severino Vasconcelos Q.D., Silva Frederico M.J., de Sousa Alves R.D., de Jesus Pinheiro Gomes Bandeira T.D., Amaral de Moraes M.E., Aragão G.F., 2024. Effects of whey protein supplementation on gut microbiota of Wistar rats with valproic acid-induced autism symptoms. *Future Microbiol.* 19(3), 213–226, <https://doi.org/10.2217/fmb-2023-0051>.
- Kerasioti E., Stagos D., Tsatsakis A.M., Spandidos D.A., Taitzoglou I., Kouretas D., 2018. Effects of sheep/goat whey protein dietary supplementation on the redox status of rats. *Mol. Med. Rep.* 17(4), 5774–5781, <https://doi.org/10.3892/mmr.2018.8622>.
- Kerstetter J.E., Bihuniak J.D., Brindisi J., Sullivan R.R., Mangano K.M., Larocque S., Kotler B.M., Simpson C.A., Cusano A.M., Gaffney-Stomberg E., Kleppinger A., Reynolds J., Dziura J., Kenny A.M., Insogna K.L., 2015. The effect of a whey protein supplement on bone mass in older Caucasian adults. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 100(6), 2214–2222, <https://doi.org/10.1210/jc.2014-3792>.
- Kita M., Obara K., Kondo S., Umeda S., Ano Y., 2018. Effect of supplementation of a whey peptide rich in tryptophan-tyrosine-related peptides on cognitive performance in healthy adults: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Nutrients* 10(7), 899, <https://doi.org/10.3390/nu10070899>.
- Liu X., Murali S.G., Holst J.J., Ney D.M. 2009. Whey protein potentiates the intestinotrophic action of glucagon-like peptide-2 in parenterally fed rats. *Am. J. Physiol.-Regul. Integr. Comp. Physiol.* 297(5): R1554–1562, <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00423.2009>.
- Meddah A.T.T., Yazourh A., Desmet I., Risbourg B., Verstraete W., Romond M.B., 2001. The regulatory effects of whey retentate from bifidobacteria fermented milk on the microbiota of

- the Simulator of the Human Intestinal Microbial Ecosystem (SHIME). *J. Appl. Microbiol.* 91(6), 1110–1117, <https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01482.x>.
- Moreno-Pérez D., Bressa C., Bailén M., Hamed-Bousdar S., Naclerio F., Carmona M., Pérez M., González-Soltero R., Montalvo-Lominchar M.G., Carabaña C., Larrosa M., 2018. Effect of a protein supplement on the gut microbiota of endurance athletes: a randomized, controlled, double-blind pilot study. *Nutrients* 10(3), 337, <https://doi.org/10.3390/nu10030337>.
- Nhean S., Tseng A., Sheehan N.L., Bogoch I.I., 2023. Use and safety of appearance and performance enhancing supplements in gay, bisexual, and other men who have sex with men receiving daily tenofovir disoproxil fumarate/emtricitabine as HIV pre-exposure prophylaxis. *AIDS Care* 35(4), 488–494, <https://doi.org/10.1080/09540121.2022.2121958>.
- Santos M.J., Teixeira, J.A., Rodrigues, L.R., 2011. Fractionation and recovery of whey proteins by hydrophobic interaction chromatography. *J. Chromatogr. B.* 879(7–8), 475–479, <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2011.01.003>.
- Thomson J.S., Ali A., Rowlands D.S., 2011. Leucine-protein supplemented recovery feeding enhances subsequent cycling performance in well-trained men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 36(2), 242–253, <https://doi.org/10.1139/h10-104>.
- Tucker J., Fischer T., Upjohn L., Mazzer D., Kumar M., 2018. Unapproved pharmaceutical ingredients included in dietary supplements associated with US Food and Drug Administration warnings. *JAMA Netw. Open* 1(6), e183337–e183337.
- West D.W.D., Abou S.A., Mazzulla M., Williamson E., Moore D.R., 2017. Whey protein supplementation enhances whole body protein metabolism and performance recovery after resistance exercise: a double-blind crossover study. *Nutrients* 9(7), 735 <https://doi.org/10.3390/nu9070735>.
- Wróblewska B., Juśkiewicz J., Kroplewski B., Jurgoński A., Wasilewska E., Złotkowska D., Markiewicz L., 2018. The effects of whey and soy proteins on growth performance, gastrointestinal digestion, and selected physiological responses in rats. *Food Funct.* 9(3), 1500–1509, <https://doi.org/10.1039/C7FO01204G>.
- Xia S., Maitiniyazi G., Liu Y., Chen Y., Guo M., He J., Tao W., Li Z., 2023. Whey protein isolate attenuates depression-like behavior developed in a mouse model of breast tumor. *Food Res. Inter.* 169, 112849, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112849>.
- Zhu K., Meng X., Kerr D.A., Devine A., Solah V., Binns C.W., Prince R.L., 2011. The effects of a two-year randomized, controlled trial of whey protein supplementation on bone structure, IGF-1, and urinary calcium excretion in older postmenopausal women. *J. Bone Miner. Res.* 26(9), 2298–2306, <https://doi.org/10.1002/jbmr.429>.

Analiza procesu produkcji na przykładzie gospodarstwa sadowniczego

Analysis of the production process on the example of an orchard farm

Wstęp

Według danych World Apple and Pear Association (WAPA) w 2023 r. areał sadów gruszkowych w Europie wynosił 104 000 ha. W porównaniu z 2013 r. zmniejszył się on o prawie 12 000 ha. Największy udział wśród odmian gruszek uprawianych w Europie ma Konferencja (50% areału upraw), inne znaczące odmiany to Abete Fatel, Bonkreta Williamsa i Rocha [Paradowski 2023]. Polska jest obecnie szóstym z kolei producentem gruszek w Europie [Paradowski 2024]. Według danych GUS w 2024 r. sady gruszkowe w Polsce zajmowały ok. 5900 ha, a produkcja owoców wyniosła 74 200 t [GUS 2024]. Najczęściej uprawiana Konferencja stanowi 85% krajowej produkcji [Paradowski 2023]. Jak podkreślili Dobrzański i Rybczyński [2003], o atrakcyjności gruszek wśród konsumentów decyduje nie tylko ich tekstura i barwa, ale również smak i aromat, a także wartość odżywcza i zdrowotna. Wyróżniają się właściwą proporcją zawartości kwasów do węglowodanów, obecnością witamin, pektyn i innych związków prozdrowotnych, odgrywających leczniczą rolę przy zapaleniach przewodu pokarmowego i zatruciach [Dobrzański i Rybczyński 2003, Lipa i in. 2018].

Obecnie coraz większą wagę przykładą się do zoptymalizowania produkcji świeżych owoców na każdym etapie, w tym także do wyznaczenia odpowiedniego terminu zbioru oraz warunków przechowywania. Wyznaczenie właściwego terminu zbioru jest najważniejszym czynnikiem wpływającym na długość przechowywania oraz jakość owoców w czasie obrotu handlowego. To od ich stanu fizjologicznego przed rozpoczęciem przechowywania zależy bowiem, jak długo będą mogły być przechowywane i w jakim stopniu będą podatne na wszelkiego rodzaju choroby przechowalnicze, zarówno o charakterze biotycznym, jak i abiotycznym. Termin zbioru powinien być swego rodzaju kompromisem pomiędzy jakością owoców a ich zdolnością przechowalniczą. Świeże owoce powinny być zebrane, gdy ich wygląd i wielkość są odpowiednie dla danej odmiany, przy zachowaniu optymalnego stadium dojrzałości [Łysiak i Kurlus 2000].

Proces dojrzewania świeżych owoców klimakterycznych, do których należą owoce gruszy, wynika ze wzrostu produkcji etylenu i intensywności oddychania. Wraz ze wzro-

¹ Uniwersytet Rzeszowski, Studenckie Koło Naukowe AnimalEquus

² Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, e-mail: jtopczewska@ur.edu.pl

stem dojrzałości rozkładowi ulega skrobia i spada jędrność owoców, jednocześnie zwiększa się ilość cukrów i kwasów organicznych, co poprawia smak i aromat owoców. Zebrane zbyt wcześnie owoce będą miały gorsze walory smakowe i pojawi się ryzyko wystąpienia opalenizny przechowalniczej. Z kolei zbyt późny zbiór będzie skutkował spadkiem jędrności i szybszym dojrzewaniem owoców, a tym samym małą przydatnością do długiego przechowywania [Bryk 2021, Tarapata i Lesiów 2021].

Do najczęściej wykorzystywanych w praktyce sadowniczej metod określających stopień dojrzałości owoców należą wskaźniki oparte na określeniu ich wielkości, barwy podstawowej skórki, łatwości odchodzenia owoców od krótkopędu. Metody bazujące na przesłankach naukowych to test skrobiowy, pomiar jędrności i zawartości ekstraktu, określenie indeksu Streifa oraz metoda indukowanego etylenu [Oleszczak 2021]. Zawartość kwasów i cukrów w owocach jest nie tylko cechą odmianową, zależy także od zmian warunków atmosferycznych podczas wegetacji. W trakcie osiągnięcia dojrzałości zbiorczej w owocach ziarnkowych zachodzą procesy rozkładu skrobi do cukrów prostych. Zanika ona w miąższu, począwszy od gniazda nasiennego w kierunku skórki owocu. Z tego powodu próba skrobiowa określana jest jako najprostsza metoda oceny dojrzałości owoców. W określeniu stopnia dojrzałości pomagają tablice wzorcowe dla danej odmiany lub grupy odmian. Wynik testu skrobiowego podawany jest w skali 10-punktowej: 1 – brak rozkładu skrobi, 10 – całkowity jej rozkład [Strużyk 2023].

Przechowywanie produktów rolno-spożywczych, w tym świeżych owoców, ma kluczowe znaczenie dla zachowania ich jakości i bezpieczeństwa. Ważnymi czynnikami w przechowywaniu są temperatura, wilgotność i wentylacja. Obniżenie temperatury powietrza w czasie składowania owoców zwalnia szybkość ich dojrzewania i umożliwia wydłużenie okresu przechowalniczego. Komory chłodnicze uruchamia się kilka dni przed planowanym załadunkiem. Elementy wyposażenia powinny utracić zgromadzone w nich ciepło, a temperatura powietrza powinna wynosić 0–2°C. Owoce o temperaturze 15–20°C należy w ciągu 24 godzin schłodzić do minimum 4–6°C. W przechowywaniu jabłek i gruszek nie stosuje się odrębnych komór wstępnego schładzania, ponieważ wymagałoby to dwukrotnego przestawiania owoców dostarczonych z sadu do chłodni. Po schłodzeniu wypełnionej komory do odpowiedniej temperatury chłodniczej należy przestrzegać utrzymania jej na stałym poziomie. Wahanie temperatury miąższu owoców nie powinny przekraczać $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ od założonego poziomu. Podwyższona temperatura otoczenia i miąższu owoców skutkuje wydzielaniem przez nie dużych ilości ciepła i wzrostem temperatury. Jak podają Rutkowski i Skorupińska [2023], nie tyle obecność etylenu znajdującego się w powietrzu komory jest groźna dla przechowywania owoców, ile podwyższona temperatura. Jeśli temperatura wzrośnie do 7–8°C, obecność etylenu zwiększy intensywność oddychania owoców i tym samym przyspieszy dojrzewanie. Wilgotność względna powietrza w czasie przechowywania np. jabłek powinna wynosić 85–97%.

Skład gazowy atmosfery w komorze przechowalniczej również ma wpływ na przechowywanie owoców. Po napełnieniu komory i jej zamknięciu stężenie O_2 powinno zostać zredukowane do ok. 4–5% [Grzęda 2021]. Badania w zakresie poszukiwania nowych rozwiązań umożliwiających zabezpieczenie owoców przed niekorzystnym wpływem etylenu zaowocowały odkryciem organicznego związku chemicznego – 1-metylocyklopropenu (1-MCP). Jak podają Zhao i współautorzy [2019], 1-MCP działa poprzez wiązanie

się z receptorami etylenu, zapobiegając jego wpływowi na proces dojrzewania i starzenie się owoców. Pozbiiorcze zastosowanie 1-MCP ogranicza oddychanie owoców, zahamowuje biosyntezę etylenu, opóźnia mięknięcie owoców, zatrzymuje chlorofil w skórce i wydłuża okres przydatności do spożycia [Zhao i in. 2019]. Wdrażanie tej technologii pozwala na przechowywanie gruszek do kilkunastu miesięcy po zbiorze w doskonałej jakości. Do tego celu wykorzystuje się np. preparat SmartFresh ProTabs. Dzięki użyciu 1-MPC owoce można przechowywać w wyższej temperaturze, co pozwala zmniejszyć koszty energii elektrycznej [Tomala i Małachowska 2021].

Celem pracy była analiza łańcucha dostaw i procesów transportu wewnętrznego owoców gruszy na przykładzie gospodarstwa sadowniczego. Omówiono etapy produkcji owoców gruszy od momentu ich zbioru, poprzez transport do gospodarstwa, aż po sortowanie, pakowanie i magazynowanie. Przeprowadzono identyfikację procesów transportowych oraz ich ocenę.

Material i metody

Analizowane gospodarstwo sadownicze o łącznej powierzchni 24 ha zajmowało się głównie produkcją sadowniczą różnych odmian gruszy. Największą powierzchnię nasadzeń stanowiły grusze odmiany Konferencja (7,5 ha) i Xenia (6,7 ha), a następnie wcześnie odmiany: Faworytka/Klapsa (1,75 ha), Lukasówka (1,42 ha), Carolla (0,86 ha) i Bonkreta Williama (0,58 ha).

Gospodarstwo posiadało park maszynowy, na który składały się m.in. platforma samojezdna i przyciągnikowa, siedem ciągników, dwa opryskiwacze, dwie kosiarki, 12 wózków sadowniczych oraz dwa wózki widłowe. Ponadto cała powierzchnia upraw sadowniczych wyposażona była w zautomatyzowany system nawadniający, a 80% powierzchni sadu było chronione systemem przeciwgradowym. Na terenie gospodarstwa sadowniczego znajdował się budynek chłodni wybudowany w 2001 r., zmodernizowany w 2006 r. i 2021 r. Główna, najstarsza część budynku, którego powierzchnia użytkowa wynosiła nieco ponad 690 m², składała się z trzech komór chłodniczych i sortowni. W gospodarstwie znajdowała się także otwarta wiata o powierzchni użytkowej 138 m², w której składowane były puste skrzynie, oraz wiata zamknięta o powierzchni użytkowej ponad 140 m², w której przechowywana była część parku maszynowego. W 2021 r. budynek został powiększony o trzy nowe komory chłodnicze i miejsce, w którym stała nowoczesna maszyna do sortowania owoców. Łącznie uzyskano ok. 1500 m² powierzchni użytkowej. Dużym ułatwieniem w prowadzeniu gospodarstwa było wyposażenie go w system GTrack, umożliwiający zdalne sterowanie maszynami z telefonu komórkowego, bez konieczności rozłączania jego elementów. Był on stosowany w procesie nawadniania i opryskiwania. Traktor podłączony do opryskiwacza sterowanego przez system zapewniał precyzyjną pracę. Moduł na opryskiwaczu zbierał sygnały z czujników prędkości i ciśnienia oraz sterował zaworami sekcyjnymi i regulacyjnymi. Zastosowanie GTrack pozwoliło na bardziej precyzyjną pracę maszyn, zmniejszenie użycia środków ochrony roślin i oszczędność czasu.

Zebrano dane dotyczące terminu zbioru, wykorzystanych maszyn (w tym szczególnie do transportu wewnętrznego), a także warunków w przechowalni (temperatura w zakresie od ok. -1°C do 1°C ; wilgotność względna 95%). Przykładowe parametry dla gruszy odmiany Konferencja podczas załadunku komory to: temperatura $-0,3^{\circ}\text{C}$ i stężenie O_2 20%, a $\text{CO}_2 < 0,7\%$. Po czterech tygodniach obniżono temperaturę do $-0,6^{\circ}\text{C}$, a stężenie O_2 do 6%, które następnie samoistnie obniżyło się do 3,5%, i utrzymywano parametry: $-0,6^{\circ}\text{C}$, CO_2 0,7% i O_2 3,5% (temperatura zamarzania gruszek wynosi $-1,5^{\circ}\text{C}$ i zależy od zawartości ekstraktu w miąższu owocu). Przeprowadzono szczegółową analizę wszystkich procesów logistycznych mających wpływ na jakość owoców, koszty oraz efektywność całego systemu logistycznego od producenta do konsumenta.

W obliczeniach wykorzystano dane dotyczące parku maszynowego gospodarstwa, w tym środków transportu wewnętrznego oraz ich czasu pracy. Na podstawie zebranych danych określono:

- wskaźnik umaszynowania gospodarstwa (WUG) [Roman i Gawin 2021]:

$$\text{WUG} = \frac{\text{wartość maszyn i ciągników}}{\text{powierzchnia gospodarstwa w UR}}$$

- wskaźnik wykorzystania pojazdów (WWP) [Roman i Gawin 2021]:

$$\text{WWP} = \frac{\text{liczba dni eksploatacji}}{\text{liczba dni inwentarzowych}}$$

Do obliczeń wykorzystano pakiet Statistica 13.3.

Wyniki i dyskusja

Wyznaczenie odpowiedniego terminu zbioru gruszek w gospodarstwie o powierzchni 20 ha wymaga uwzględnienia wielu czynników, takich jak odmiana, warunki pogodowe, przeznaczenie owoców (konsumpcja, przechowywanie, przetwórstwo) oraz stopień dojrzałości. Owoce gruszy zbiera się w dojrzałości zbiorczej, kiedy uzyskują odpowiedni rozmiar i barwę, a miąższ jest twardy. Aby ocenić równomierność dojrzewania, wykonuje się test skrobiowy, ważne jest również doświadczenie sadownika. Próbę skrobiową określa się jako najprostszą metodę oceny dojrzałości owoców. Stopień rozkładu skrobi obrazuje zaawansowanie hydrolizy skrobi do cukrów prostych [Oleszczak 2021]. Owoce gruszy najlepiej zbierać w pogodny dzień, co pozwala uniknąć rozwoju chorób podczas ich przechowywania.

W analizowanym gospodarstwie zbiór owoców odbywał się ręcznie (ryc. 1). Częstym rodzajem uszkodzeń powstających już podczas zbioru, a następnie transportu, sortowania i sprzedaży są obicia, definiowane jako uszkodzenia miąższu owoców prowadzące do zmiany barwy, występujące na ogół bez rozerwania skórki [Dobrzański i Rybczyński 2002, 2003]. Owoce wkładane były pojedynczo do drewnianych skrzyniopalet, wyłożonych specjalną pianką zapobiegającą odgnieceniu owoców podczas transportu do przechowalni. Dobrzański i Rybczyński [2008] stwierdzili, że w trakcie obić trwałemu

odkształceniu i uszkodzeniu tkanki podlega warstwa przypowierzchniowa miąższu, a nie miąższ głębszej warstwy, do której jest wbijany penetrometr, wykorzystywany do oceny właściwości teksturalnych owoców. Skrzyniopalety były umieszczone na wózkach sadowniczych dwupaletowych z czterokołową osią skrętną. Do jednego ciągnika zazwyczaj przypięte były trzy wózki, co umożliwiało zbiór do sześciu skrzyń jednocześnie. Owoce uszkodzone zbierane były do skrzynek „jedynek”, znajdujących się na końcu wózków, a owoce dojrzałe (dojrzałość konsumpcyjna) odkładane do „fruit box”. Wyznacznikiem maksymalnej wysokości zbioru od poziomu gleby był trzeci drut konstrukcji, który znajdował się na wysokości ok. 1,85 m. Po zbiorze z dolnej partii drzew następował zbiór z górnej partii. Do tego etapu używana była platforma samojezdna z mechanicznie rozkładanymi balkonami, która mieściła trzy skrzyniopalety, oraz platforma sadownicza ciągnana, która współpracowała ze zdalnie sterowanym ciągnikiem o pojemności trzech skrzyniopalet.



Ryc. 1. Ręczny zbiór owoców w badanym gospodarstwie sadowniczym
[fot. E. Radzimowska]

Proces transportu gruszek z sadu do budynku magazynowego odbywał się każdego dnia zbiorów i trwał łącznie 31,3 dni roboczych, przewożonych było średnio osiem zestawów po sześć skrzyniopalet w trakcie 10 godzin pracy. Z badań Klepackiej i Traczyka [2022] wynika, że podczas zbiorów jabłek pracownicy w jednym dniu byli w stanie nappełnić ok. 30 skrzyniopalet. Istotne jest, aby proces rozładowywania przyczepy oraz załadunku jej pustymi skrzyniami trwał krócej niż zapelnienie owocami gruszy całego zestawu znajdującego się w sadzie. Ma to na celu zwiększenie efektywności produkcji i ni-

welowanie przerw. Po wstępnym schłodzeniu owoce przewożone były do komór chłodniczych. Wózki widłowe były wykorzystywane głównie podczas rozładunku zestawu z pełnych skrzyniopalet i załadunku pustych oraz przewożenia skrzyniopalet z hali magazynowej do komór chłodniczych. Wózki paletowe służyły głównie do transportu wewnętrznego skrzyniopalet podczas procesu sortowania gruszek oraz w trakcie załadunku towaru na samochód. W badanym gospodarstwie największe zbiory uzyskano z działki nr 6, co związane było jednocześnie z największymi kosztami w postaci roboczogodzin i zużycia paliwa (tab. 1). Łącznie w okresie zbiorów przebieg oszacowano na ponad 390 km, roboczogodziny na ponad 418, przy zbiorach wynoszących 717 160 kg owoców. Transport wewnętrzny przy użyciu wózków widłowych trwał średnio 6 godzin w ciągu dnia roboczego w okresie zbiorów, co wynikało głównie z rozładunku. Zużycie energii wózka widłowego w dniu pracy w tym okresie wynosiło średnio 36,6 kWh. Jak podaje Pakuła i współautorzy [2018], produkcja sadownicza staje się coraz mniej opłacalna, dlatego należy poszukiwać czynników redukujących koszty (m.in. transportu wewnętrznego), a także mechanizmów pozwalających utrzymać wysoką jakość podczas długiego magazynowania owoców.

Tab. 1. Średnia długość, liczba oraz czas trwania przejazdów ciągników w analizowanym gospodarstwie sadowniczym

Nr działki	Średnia długość przejazdu (m)	Liczba przejazdów (szt.)	Łączny przebieg (km)	Masa owoców (kg)	Wykorzystane ciągniki (szt.)	Przepracowane godziny	Dni eksploatacyjne (szt.)	Łączne zużycie paliwa (l)
1	400	28	11,2	53 760	3	27,4	2,28	87,68
1a	200	7	1,4	12 900	3	6,68	1,67	21,37
2a	600	14	8,4	27 000	3	14,06	1,17	45
3a	900	26	23,4	49 200	3	29,46	2,13	94,30
4	850	29	24,65	56 000	3	33,25	2,41	106,42
6	1480	74	109,5	142 400	3	82,8	5,56	264,9
7a	1600	9	14,4	18 000	3	10,78	0,78	34,5
7b	1650	14	23,1	26 100	3	15,63	1,13	50,2
7c	1670	12	20,04	23 100	3	13,55	0,98	43,37
7d	1680	18	30,24	34 400	3	20,60	1,49	65,93
8	700	14	9,8	26 400	3	15,81	1,14	50,59
8b	760	16	12,16	30 000	3	17,96	1,3	57,49
8c	800	49	39,2	94 400	3	56,54	4	180,53
9	1300	27	35,1	52 500	3	31,44	2,27	100,62
10	1200	37	44,4	71 000	3	42,52	3	136,08
Suma	15 790	374	394,73	717 160	–	418,48	31,31	1338,98

Największe nasilenie prac transportowych miało miejsce podczas zbiorów. Sortownica była wykorzystywana tylko podczas procesu sortowania bezpośrednio przed sprzedażą towaru lub krótkim magazynowaniem w oczekiwaniu na klienta – ok. 152 godziny (19 dni po 8 godzin).

Dla analizowanego gospodarstwa wartość wskaźnika WUG wynosiła 49 069,48 zł/ha. Była relatywnie niska, ponieważ w większości wykorzystywane były starsze ciągniki, o niskiej wartości. Wartość WWP wynosiła <10%, co oznacza, że pojazdy wykorzystywane w transporcie wewnętrznym eksploatowane są w niewielkim zakresie do przewozu owoców. Pozostałe ich wykorzystanie, w tym głównie ciągników rolniczych, wiąże się z wykonywaniem innych zabiegów agrotechnicznych w sadzie.

Zebrane owoce gruszy magazynowane były w specjalistycznym magazynie. Budynek chłodni na terenie gospodarstwa posiadał sześć komór chłodniczych, z czego pięć służyło do przechowywania gruszek. Opóźnienia w schładzaniu owoców skracają potencjalny czas ich przechowywania i jakość. W celu wydłużenia okresu przechowywania i opóźniania dojrzewania gruszek odmian Konferencja i Xenia stosowano zamglawianie komór oraz preparaty zawierające 1-MCP, takie jak SmartFresh, które były rozprowadzane w komorach za pomocą specjalistycznego sprzętu.

Skrzynie z owocami były wywożone z komór chłodniczych na halę sortowniczą. Linia sortująca składała się z kilku rodzajów maszyn. Pierwszy etap sortowania, tzw. rozładunek suchy, przeprowadzany był na wywrotnicy z górnym odbiorem owoców, które były wysypywane przez szczelinę znajdującą się w górnej części ruchomej pokrywy wywrotnicy, po wcześniejszym obróceniu palety. Urządzenie było sterowane, a rozładunek odbywał się automatycznie, w sposób ciągły. Dodatkowo wywrotnica wyposażona była w system automatycznej regulacji wysokości mechanizmów, na których umieszczana była skrzyniopaleta, co dawało możliwość operowania pojemnikami o różnych rozmiarach. Owoce trafiały na podajnik taśmowy. Miał on regulowaną prędkość, dzięki czemu gruszki były równomiernie rozłożone na taśmie, co zwiększało wydajność sortowania. Na tym etapie odbierano owoce uszkodzone. Następnie owoce trafiały pod dyszę i były prysznicowane czystą wodą. Owoce przeznaczone do dystrybucji muszą być suche, dlatego trafiały na rolki z gąbkami celem odsączenia wody, a następnie na rozdzielacz. Z trzech kanałów owoce pojedynczo umieszczane były na elementach roznoszących, na których odbywało się kalibrowanie i sortowanie. Cały proces rejestrowany był przez centralny komputer. Dokładność pomiarów umożliwiała sortowanie owoców nawet na siedem różnych klas jednocześnie. Dzięki temu w pełni skomputeryzowanemu procesowi praca maszyny była w pełni rejestrowana przez centralny komputer, co umożliwiało precyzyjne kontrolowanie wyników sortowania, np. masy owoców w danym przedziale jakościowym. Na końcowym etapie każdy owoc gruszy trafiał na właściwy stół pakerski, przypisany do danej klasy. Po przesortowaniu spakowane owoce trafiały do transportu lub komory chłodniczej.

Podsumowanie

Zastosowanie w badanym gospodarstwie nowoczesnych technologii, takich jak platformy sadownicze, systemy chłodnicze z kontrolowaną atmosferą, a także sortowanie przy użyciu kamer cyfrowych, pozwalało na optymalizację procesu produkcji i zbiorów. Największe nasilenie prac związane było ze zbiorem owoców, co wynikało z wysokości plonów. Optymalne zarządzanie procesem przechowywania po zbiorach ma kluczowe znaczenie w utrzymaniu wysokiej jakości owoców gruszy.

Bibliografia

- Bryk H., 2021. Ostatnia prosta przed zbiorami. *Sad Nowoczesny* 8, 22–28.
- Dobrzański jr B., Rybczyński R., 2002. Colour change of apples as a result of storage, shelf-life and bruising. *Int. Agrophys.* 16(4), 261–268.
- Dobrzański jr B., Rybczyński R. 2003. The measurement of colour of apple skin as a basic study of bruising. *New Methods, Means and Technol. Appl. Agric. Prod. Agric. Eng.* LUA 1(6), 134–139.
- Dobrzański jr B., Rybczyński R., 2008. Problemy pomiaru mechanicznych właściwości owoców w aspekcie oceny ich jędrności. W: *Właściwości fizyczne i biochemiczne materiałów roślinnych* (red. B. Dobrzański jr, A. Rutkowski, R. Rybczyński). Wyd. Nauk. FRNA, Komitet Agrofizyki PAN, Lublin.
- GUS, 2024. Wynikowy szacunek głównych ziemioplodów rolnych i ogrodniczych w 2024 roku. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/uprawy-rolne-i-ogrodnicze/wynikowy-szacunek-glownych-ziemioplodow-rolnych-i-ogrodniczych-w-2024-roku,5,23.html> [dostęp 25.03.2025].
- Grzęda M., 2021. Komory chłodnicze przed nowym sezonem. *Sad Nowoczesny* 8, 30–34.
- Klepcka A.M., Traczyk R., 2022. Możliwości rozwoju gospodarstwa sadowniczego ze szczególnym uwzględnieniem elementów logistycznych. *Annals PAAAE* 24(4), 116–132, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1321>
- Lipa T., Szot I., Dobrzański B., Kapłań M., Baryła P., 2018. Podatność gruszek na obicia po zbiorze i przechowywaniu. *Acta Agrophys.* 25(4), 485–499, <https://doi.org/10.31545/aagr/102717>
- Łysiak G., Kurlus R., 2000. Tempo przemian fizjologicznych w jabłkach odmiany Jonagold i Jonagored w okresie dojrzewania oraz ich zdolność przechowalnicza. *Prace Komisji Nauk Rolniczych i Komisji Nauk Leśnych PTPN* 89, 145–152.
- Oleszczak M., 2021. Nie za wcześnie, nie za późno, czyli jak wyznaczyć termin zbioru owoców?. *Sad* 9, 30–35.
- Pakuła K., Kuźmiska B., Pieniak-Lendzion K., Trębicka J., 2018. Produkcja jabłek w Polsce – aspekty środowiskowe, ekonomiczne i logistyczne. *Zesz. Nauk. SGGW. Ekon. Organ. Gospod. Żywn.* 122, 81–93, <https://doi.org/10.22630/EIOGZ.2018.122.16>
- Paradowski A., 2023. Jaką bazą przechowalniczą dysponujemy? *Sad* 6, 16–18.
- Paradowski A., 2024. Kiedy skończy się gruszkowe eldorado? *Sad* 1, 27–29.
- Roman M., Gawin P., 2021. Organizacja procesów transportu wewnętrznego na przykładzie gospodarstwa sadowniczego. *Zesz. Nauk. SGGW. Ekon. Organ. Logist.* 6(2), 61–72, <https://doi.org/10.22630/EIOL.2021.6.2.13>
- Rutkowski K., Skorupińska A., 2023. *Gruszka: zeszyt uprawowy*. Wyd. Plantpress, Kraków, 94–98.
- Strużyk M., 2023. Wyznaczanie terminu zbioru owoców. *Sad* 6, 47–49.

- Tarapata K., Lesiów T., 2021. Zmiany zachodzące w owocach i warzywach w łańcuchu logistycznym i sposoby ich ograniczania. Cz. 1. Nauki Inż. Technol. 37, 182–205, <https://doi.org/10.15611/nit.2021.37.11>
- Tomala K., Małachowska M., 2021. Wpływ preparatów zawierających 1-MCP na jakość jabłek Red Cap. Sad Nowoczesny 11, 50–55.
- Zhao J., Xie X., Dai W., Zhang L., Wang Y., Fang C., 2018. Effects of precooling time and 1-MCP treatment on ‘Bartlett’ fruit quality during the cold storage. Scientia Horticulturae, 240, 387–396, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.049>

Żywnościowe i pozażywnościowe czynniki wpływające na poziom testosteronu u mężczyzn

Nutritional and non-nutritional factors affecting testosterone levels in men

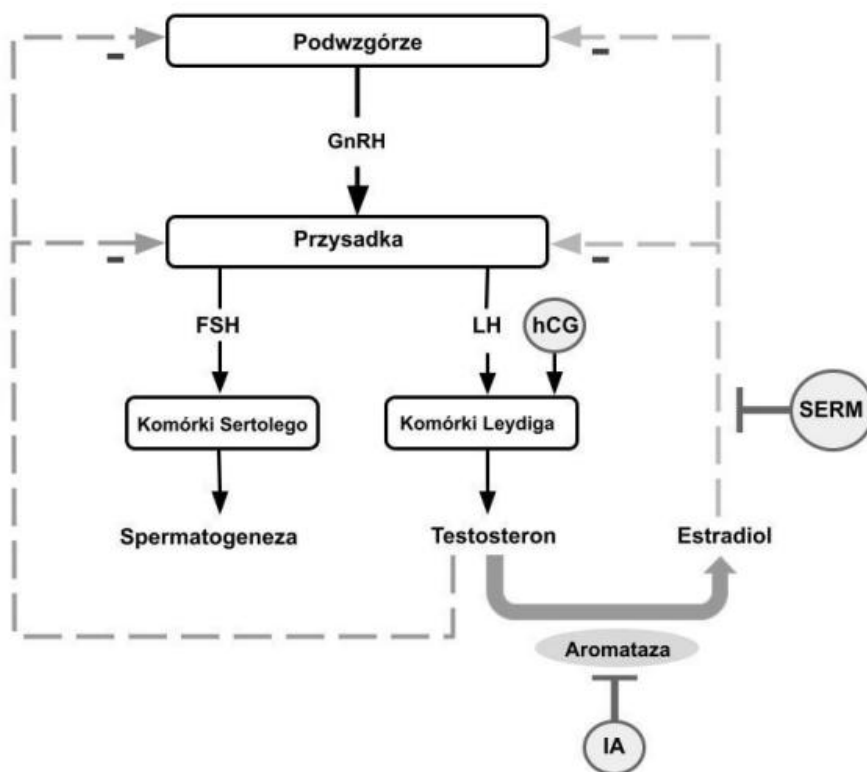
Wstęp

Testosteron to hormon steroidowy, który wpływa na wiele aspektów funkcjonowania organizmu mężczyzny. Jest syntetyzowany z cholesterolu, a za ok. 95% jego produkcji odpowiadają komórki Leydiga zlokalizowane w jądrach. Proces ten jest kontrolowany przez hormon luteinizujący (ang. luteinizing hormone LH), wydzielany przez przysadkę mózgową pod wpływem sygnałów z podwzgórza [Stachowicz i Lebedzińska 2015, Wrzosek i in. 2018]. W skrajnych przypadkach niedoborów testosteronu można wpływać na proces jego aromatyzacji przez podawanie leków antyestrogenowych, takich jak inhibitory aromatazy (ang. aromatase inhibitors, IA), czy selektywne modulatory receptora estrogenowego (ang. selective estrogen receptor modulators, SERM), a tym samym podnieść jego poziom w organizmie [Sojka i in. 2023]. Na rycinie 1 przedstawiono funkcjonowanie osi podwzgórze–przysadka–gonady (ang. hypothalamus–pituitary–gonadal axis, HPG), regulującej produkcję testosteronu i spermatogenezę. Podwzgórze wydziela gonadoliberynę (ang. gonadotropin-releasing hormone, GnRH), która pobudza przysadkę do uwalniania hormonu folikulotropowego (ang. follicle-stimulating hormone, FSH; stymuluje komórki Sertolego do spermatogenezy) i LH (pobudza komórki Leydiga do produkcji testosteronu).

Testosteron wpływa korzystnie na kondycję fizyczną i seksualną mężczyzn – zwiększa libido, wspiera potencję oraz przyczynia się do utrzymania sprawności organizmu. Oddziałując na układ immunologiczny, może wspierać odporność i chronić przed niektórymi chorobami. Dodatkowo odgrywa ważną rolę w procesach metabolicznych – sprzyja redukcji tkanki tłuszczowej oraz wspomaga rozwój masy i siły mięśniowej [Gomuła i Rabijewski 2010]. Może mieć również wpływ na funkcje mózgowe, a jego wysokie stężenie poprawia koncentrację, zwiększa motywację i pewność siebie [Stachowicz i Lebedzińska 2015].

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Sekcja Rybactwa, rapacewicz98@gmail.com

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych



Ryc. 1. Uproszczony schemat powstawania i kontroli produkcji testosteronu [Sojka i in. 2023]

Objaśnienia: GnRH – gonadoliberyna, LH – hormon luteinizujący, FSH – hormon folikulotropowy, hCG – gonadotropina kosmówkowa, IA – inhibitory aromatazy, SERM – selektywne modulatory receptora estrogenowego

Stwierdzono również związek między niskim stężeniem testosteronu a zwiększonym ryzykiem rozwinienia się insulinooporności, cukrzycy oraz chorób układu krążenia [Kelly i Jones 2013]. Poziom tego hormonu spada zazwyczaj po przekroczeniu 50. roku życia [Gomuła 2006], jednak nieodpowiedni styl życia, w tym niewłaściwa dieta, niska aktywność fizyczna i ekspozycja na stres, sprawia, że coraz większy odsetek osób młodych zmaga się z jego niedoborem. Dzięki zmianie nawyków związanych ze snem, aktywnością fizyczną, a także włączeniu do codziennego jadłospisu pewnych składników odżywczych oraz unikaniu innych, możliwe jest uregulowanie funkcjonowania układu hormonalnego, a co za tym idzie produkcji testosteronu na właściwym poziomie [Stachowicz i Lebedzińska 2015].

Celem pracy było przedstawienie czynników dietetycznych oraz tych związanych ze stylem życia, wpływających na poziom testosteronu u mężczyzn.

Cynk

Cynk jest mikroelementem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania organizmu, odgrywa kluczową rolę w wielu procesach biochemicznych. Jest obecny w licznych enzymach, takich jak polimerazy DNA i RNA, i wpływa na syntezę białek, hormonów oraz krwinek czerwonych [Szczęśniak i in. 2014]. Przyczynia się do prawidłowego wzrostu i regeneracji tkanek [Chruściel i Kubasińska-Sajnóg 2021], wspomaga prawidłowe funkcjonowanie przysadki mózgowej, wpływając na syntezę testosteronu [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Wykazuje również działanie antyoksydacyjne, co wspomaga utrzymanie homeostazy organizmu i pozwala na optymalne funkcjonowanie układu hormonalnego [Szczęśniak i in. 2014].

Zapotrzebowanie organizmu na cynk jest zróżnicowane, zależne od wielu czynników, np. wieku. Zalecane dzienne spożycie (ang. recommended dietary allowance, RDA) cynku dla dorosłych mężczyzn wynosi 11 mg [Rychlik i in. (red.) 2024]. Jego niedobór może prowadzić do wielu problemów zdrowotnych, w tym obniżenia poziomu testosteronu, a w skrajnych przypadkach niepłodności [Zdrojewicz i Wiśniewska 2005]. Głównym źródłem cynku w diecie powinny być produkty spożywcze, a suplementacja powinna być drugorzędna. Do produktów bogatych w cynk należą mięso, wątroba, sery podpuszczkowe, ciemne pieczywo, kasza gryczana oraz jaja [Kunachowicz i in. 2017]. Obecny jest także w wodzie mineralnej, choć w mniejszych ilościach. Warto zauważyć, że pochodzący z produktów zwierzęcych cynk, jest lepiej przyswajalny niż pochodzący z roślin, a jego przyswajalność wynosi 20–40% [Rychlik i in. (red.) 2024].

Witamina D

Witamina D to witamina z grupy rozpuszczalnych w tłuszczach. Można dostarczyć ją, spożywając produkty bogate w tę substancję lub poprzez syntezę skórą w wyniku ekspozycji na światło słoneczne (decydującą rolę odgrywa promieniowanie ultrafioletowe typu B – UVB). Witamina D zapobiega chorobom układu krążenia, a także immunologicznym [Napiórkowska i Franek 2009]. Ponadto wpływa korzystnie na układy kostny, nerwowy i hormonalny, będąc ściśle związaną z produkcją testosteronu [Dittfeld i in. 2014]. W komórkach Leydiga, odpowiedzialnych za produkcję testosteronu, występują receptory witaminy D oraz enzymy ją metabolizujące [Wrzosek i in. 2018]. W badaniach Wehra i współautorów [2010], trwających rok, wykazano ścisłą zależność między stężeniem testosteronu w surowicy krwi mężczyzn a metabolitu witaminy D, tzn. wraz ze wzrostem poziomu witaminy D wzrastał poziom testosteronu. Dzielne zapotrzebowanie na witaminę D waha się w zależności od jej aktualnego poziomu we krwi i podaje się w mikrogramach (µg) cholekalcyferolu lub jednostkach międzynarodowych (ang. international unit, IU) [Rychlik i in. (red.) 2024]. Do dobrych źródeł tej witaminy należą ryby morskie, które zawierają także duże ilości kwasów omega-3, oraz produkty mleczne (np. masło) [Napiórkowska i Franek 2009]. Jednak tłuste ryby morskie w naszym społeczeństwie są zbyt rzadko spożywane. Stąd też w celu odpowiedniej jej podaży zaleca się suplementację, zwłaszcza w okresie jesienno-zimowym, zwykle 2000 IU cholekalcyferolu na dobę, co odpowiada 50 µg/dobę.

Aromatyzacja testosteronu

Ważnym aspektem mającym wpływ na utrzymanie prawidłowego poziomu testosteronu jest zapobieganie jego nadmiernej aromatyzacji. Aromataza to enzym z grupy cytochromu P450 (CYP19A1) [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Odgrywa on kluczową rolę w metabolizmie hormonów steroidowych, a jego główną funkcją jest przekształcanie androgenów, takich jak testosteron i androstenedion, w estrogeny, czyli estradiol i estron. W przypadku mężczyzn produkcja enzymu aromatazy zachodzi przede wszystkim w mózgu i tkance tłuszczowej, a także w nadnerczach, jądrach, włosach, gruczołach sutkowych, a nawet w skórze [Kula i in. 2005]. Zachowanie równowagi między poziomem estrogenów a testosteronem jest kluczowe dla rozwoju kości, funkcji poznawczych i libido [Schlegel 2012]. Przebieg procesu aromatyzacji testosteronu znacząco wpływa na prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Nadmierna aktywność tego enzymu skutkuje podniesieniem poziomu estrogenów, a długotrwałe pozostawanie w tym stanie może prowadzić do wystąpienia niepożądanych zmian w organizmie, takich jak ginekomastia, retencja wody czy zmniejszenie poziomu testosteronu [Cavati i in. 2025]. Należy dbać o równowagę hormonalną organizmu, mając na celu utrzymanie jego prawidłowej pracy [Kula i in. 2005].

Czynniki wpływające na poziom aromatazy

Badania wykazały wpływ polifenoli na zahamowanie działania aromatazy, a co za tym idzie zwiększenie poziomu testosteronu w surowicy [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Ponadto zauważono ich prozdrowotne właściwości w profilaktyce wielu chorób układu krążenia, a nawet chorób nowotworowych [Zalega i Szostak-Węgierek 2013]. Te silne przeciwutleniacze znajdują się przede wszystkim w jadalnych częściach owoców i warzyw [Sadowska i in. 2011]. Niektóre polifenole, zwłaszcza metylourolityna B, obecna w soku z granatu, mogą hamować aktywność aromatazy nawet do 70%. Dodatkowo resweratrol, zawarty m.in. w pestkach winogron, pośrednio obniża wytwarzanie aromatazy, przez blokowanie receptorów glikokortykosteroidów [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Chociaż dla związków polifenolowych nie ustalono norm spożycia, ich zalecana dzienna podaż w diecie powinna być na poziomie 250–500 mg [Rychlik i in. (red.) 2024]. Do produktów bogatych w te antyoksydanty zalicza się m.in. sałatę, kabaczki, cebulę, grejpfruty, pomarańcze, jabłka oraz aronię. Warto włączyć je do codziennego jadłospisu mężczyzn [Sadowska i in. 2011].

Ważnym aspektem, mającym znaczący wpływ na zachowanie równowagi hormonalnej oraz właściwego poziomu aromatazy jest utrzymywanie prawidłowej masy ciała [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Najprostszym narzędziem do jej określenia jest wskaźnik BMI (ang. body mass index), który pozwala ocenić, czy masa ciała jest prawidłowa w stosunku do wzrostu. Do jego obliczenia należy posłużyć się wzorem: masa ciała (kg)/wzrost (m^2). Za optymalny przyjęto zakres BMI 20–25 kg/m^2 [Bray 2013]. Nadmierna ilość tkanki tłuszczowej w organizmie skutkuje obniżeniem poziomu testosteronu. Adypocyty komórki, z których zbudowana jest tkanka tłuszczowa, wydzielają aktywne biologicznie substancje, m.in. aromatazę [Stachowicz i Lebedzińska 2015].

Należy podkreślić, że niedostateczny poziom tkanki tłuszczowej również negatywnie wpływa na poziom testosteronu u mężczyzn [Fink i in. 2018]. Często deficyt tego hormonu zauważalny jest u zawodników sportów sylwetkowych, podczas okresów przygotowań do startów.

Pożywieniowe czynniki wpływające na poziom testosteronu

Na optymalne funkcjonowanie układu hormonalnego wpływa nie tylko sposób odżywiania, ale również sen, który stanowi jedną z podstawowych potrzeb fizjologicznych człowieka. Można go zdefiniować jako odwracalny stan zniesienia świadomości, bezruchu lub ograniczonej aktywności ruchowej [Lichman i in. 2023]. W trakcie snu organizm przeprowadza procesy regeneracyjne, odbudowując uszkodzone tkanki oraz przywracając homeostazę. Odpowiednia długość i jakość snu mają duże znaczenie w utrzymaniu prawidłowego poziomu testosteronu. Badania przeprowadzone na Uniwersytecie w Chicago (University of Chicago) wykazały, że mężczyźni, którzy spali <5 godzin/dobę przez tydzień, mieli niższe o 10–15% stężenie testosteronu w porównaniu do okresów, w których sypiali 8 godzin [Leproult i Van Cauter 2011]. Zaburzenia snu, takie jak bezsenność czy bezdech senny, również negatywnie wpływają na jego produkcję, ponieważ szczyt produkcji testosteronu następuje podczas pierwszej fazy REM lub po ok. 3 godzinach nieprzerwanego snu. Bezdech senny prowadzi do zakłóceń tej fazy, co może powodować obniżenie poziomu testosteronu i jego niedobory w organizmie [Lichman i in. 2023].

Badania naukowe wykazały zależność między poziomem kortyzolu, znanego jako hormon stresu, a stężeniem testosteronu u mężczyzn. Zwłaszcza stres przewlekły prowadzi do podwyższenia poziomu kortyzolu, co może hamować produkcję testosteronu w wyniku dwóch mechanizmów [Brownlee i in. 2005]. Pierwszym jest hamowanie osi podwzgórze–przysadka–jądra (ang. hypothalamus–pituitary–gonadal axis, HPG). Wysokie stężenie kortyzolu może zmniejszać wydzielanie GnRH przez podwzgórze, co obniża produkcję przez przysadkę mózgową LH, będącego kluczowym hormonem stymulującym jądra do produkcji testosteronu [Biesiada i Dobosiewicz 2017]. Drugim jest zaburzenie funkcjonowania komórek Leydiga. Przewlekły stres może prowadzić do uszkodzenia mitochondriów w tych komórkach, co zmniejsza efektywność procesu produkcji testosteronu [Chichinadze i Chichinadze 2008].

Zwiększenie aktywności fizycznej prowadzi do wzrostu ilości wydatkowanej energii, co przyczynić się może do normalizacji masy ciała. Wyniki badań wskazują, że redukcja ilości tkanki tłuszczowej wpływa pozytywnie na syntezę androgenów [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Ponadto regularna aktywność fizyczna wspomaga utrzymanie odpowiedniej kondycji, a także przeciwdziała chorobom układu krążenia, nadwadze, reguluje poziom cukru we krwi oraz pozwala rozładować stres [Żarski i Gorący 2017]. Wpływa to bezpośrednio na poprawę ogólnego stanu zdrowia, a co za tym idzie utrzymanie prawidłowego poziomu testosteronu.

Alkohol etylowy powszechnie uznawany jest za jeden z głównych czynników negatywnie wpływających na gospodarkę hormonalną, w szczególności na poziom testo-

steronu. Nawet niewielkie dawki etanolu mogą zaburzać funkcjonowanie licznych układów oraz podstawowych procesów fizjologicznych organizmu. Przewlekłe spożywanie alkoholu prowadzi do dysregulacji osi podwzgórze–przysadka–nadnercza (ang. hypothalamic–pituitary–adrenal axis, HPAA), kluczowej dla hormonalnej odpowiedzi organizmu na stres [Boschloo i in. 2011]. Efektem tego zaburzenia jest wzrost stężenia kortyzolu, hormonu o działaniu katabolicznym, co w konsekwencji powoduje obniżenie poziomu testosteronu [Chichinadze i Chichinadze 2008].

Eksperymenty przeprowadzone na modelach zwierzęcych, w których podawano myszom określone dawki alkoholu, potwierdziły jego szkodliwy wpływ na funkcjonowanie układu hormonalnego, w tym szczególnie na wydzielanie androgenów [Rasmussen i in. 2003]. Dodatkowo etanol zaburza równowagę między androgenami a estrogenami poprzez hamowanie aktywności enzymatycznej cytochromu P450 oraz zmniejszenie stężenia cynku [Stachowicz i Lebedzińska 2015]. Zarówno w kontekście aktywności fizycznej, jak i ogólnej dbałości o zdrowie oraz sprawność organizmu wskazane jest ograniczenie lub całkowite unikanie spożycia alkoholu, a zwłaszcza napojów wysokoprocentowych.

Podsumowanie

Testosteron pełni szereg kluczowych funkcji w organizmie mężczyzny, m.in. w zakresie regulacji popędu płciowego, syntezy białek, utrzymania masy mięśniowej, gęstości mineralnej kości oraz ogólnej homeostazy metabolicznej. Z tego względu istotne jest utrzymywanie jego stężenia na fizjologicznym, prawidłowym poziomie. Istnieje szereg naturalnych metod wspierających produkcję testosteronu, obejmujących przede wszystkim modyfikację stylu życia oraz sposobu odżywiania. Wdrożenie nawet niewielkich, ale konsekwentnych zmian w tych obszarach może skutkować znaczną poprawą parametrów hormonalnych, bardzo często nawet bez konieczności interwencji farmakologicznych. Jednocześnie należy zwracać uwagę na funkcjonowanie całego układu endokrynnego jako dynamicznego i współzależnego systemu. Zachowanie równowagi hormonalnej ma kluczowe znaczenie dla zdrowia – zarówno niedobór, jak i nadmiar testosteronu mogą prowadzić do niepożądanych konsekwencji zdrowotnych. Zaleca się regularne badania laboratoryjne, w szczególności oznaczenie stężenia testosteronu całkowitego i wolnego we krwi, a także okresową ocenę innych parametrów metabolicznych i hormonalnych. Pozwala to na wczesne wykrycie ewentualnych nieprawidłowości oraz wdrożenie odpowiednich działań profilaktycznych lub terapeutycznych.

Bibliografia

- Biesiada S., Dobosiewicz A., 2017. Diagnostyka i zasady monitorowania przetrenowania w sporcie – przegląd piśmiennictwa. *J. Educ. Health and Sport* 7(8), 403–414, <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.852688>.
- Boschloo L., Vogelzangs N., Licht C.M.M., Vreeburg S.A., Smit J.H., van den Brink W., Veltman D.J., de Geus E.J.C., Beekman A.T.F., Penninx B.W.J.H., 2011. Heavy alcohol use, rather than alcohol dependence, is associated with dysregulation of the hypothalamic–pituitary–

- adrenal axis and the autonomic nervous system. *Drug. Alcohol. Depend.* 116(1–3), 170–176, <https://doi.org/10.1016/j.drugalcdep.2010.12.006>.
- Bray G.A., 2013. Why do we need drugs to treat the patient with obesity? *Obesity* 21(5), 893–899, <https://doi.org/10.1002/oby.20394>.
- Brownlee K.K., Moore A.W., Hackney A.C., 2005. Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J. Sport. Sci. Med.* 4(1), 76–83.
- Cavati G., Merlotti D., Cardamone P., Dipasquale G., Gennari L., 2025. Bone disease associated with inactivating aromatase mutations and its management. *Calcif Tissue Int.* 116, 1, <https://doi.org/10.1007/s00223-024-01330-0>.
- Chichinadze K., Chichinadze N., 2008. Stress-induced increase of testosterone: Contributions of social status and sympathetic reactivity. *Physiol. Behav.* 94(4), 595–603, <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2008.03.020>.
- Chruściel P., Kubasińska-Sajnog A., 2021. Charakterystyka oraz zastosowanie cynku w kosmologii i dietetyce. *Aesth. Cosmetol. Med.* 10(4), 189–193, <https://doi.org/10.52336/acm.2021.10.4.03>.
- Dittfeld A., Gwizdek K., Koszowska A., Fizia K., 2014. Wielokierunkowe działanie witaminy D. *Ann. Acad. Med. Siles.* 68(1), 47–52.
- Fink J., Schoenfeld B.J., Nakazato K., 2018. The role of hormones in muscle hypertrophy. *Phys. Sportsmed.* 46(1), 129–134, <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1406778>.
- Gomuła A., 2006. Wpływ hormonów płciowych i neurotransmiterów na funkcje i zachowania seksualne. *Seksuol. Pol.* 4(1), 21–33.
- Gomuła A., Rabijewski M., 2010. Zespół niedoboru testosteronu – rozpoznawanie i leczenie na podstawie norm stężenia testosteronu należnych dla wieku. *Seksuol. Pol.* 8(1), 1–16.
- Kelly D.M., Jones T.H., 2013. Testosterone: a metabolic hormone in health and disease. *J. Endocrinol.* 217(3), 25–45, <https://doi.org/10.1530/JOE-12-0455>.
- Kula K., Słowikowska-Hilczner J., Walczak-Jędrzejewska R., Kula P., Oszukowska E., Marchlewska K., Wranicz J.K., 2005. Physiological significance of estrogens in men - breakthrough in endocrinology. *Endokrynol. Pol.* 56(3), 314–321.
- Kunachowicz H., Przygoda B., Nadolna I., Iwanow K., 2017. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. PZWL Wyd. Lek., Warszawa.
- Leproult R., Van Cauter E., 2011. Effect of 1 week of sleep restriction on testosterone levels in young healthy men. *JAMA* 305, 21, 2173–2174, <https://doi.org/10.1001/jama.2011.710>.
- Lichman M., Przeradzki J., Borycka A., Jędrzejewska B., Kotulska M., Laskus P., Lubczyńska Z., Potocka Z., Rząd K., Kochanowska J., 2023. Sleep duration and cardiovascular outcomes. *J. Educ. Health and Sport* 31(1), 17–34, <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.31.01.002>.
- Napiórkowska L., Franek E., 2009. Rola oznaczania witaminy D w praktyce klinicznej. *Chor. Serca Nacz.* 6(4), 203–210.
- Rasmussen D.D., Sarkar D.K., Roberts J.L., Gore A.C., 2003. Chronic daily ethanol and withdrawal: long-term changes in plasma testosterone regulation, but no effect on GnRH gene expression or plasma LH concentrations. *Endocrine* 22(2), 143–150, <https://doi.org/10.1385/ENDO:22:2:143>.
- Rychlik E., Stoś K., Woźniak A., Mojska H. (red.), 2024. Normy żywienia dla populacji Polski. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego PZH – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
- Sadowska A., Świdorski F., Kromołowska R., 2011. Polifenole – źródło naturalnych przeciwutleniaczy. *Post. Techniki Przetwórstwa Spoż.* 1, 108–111.
- Schlegel P.N., 2012. Aromatase inhibitors for male infertility. *Fertil. Steril.* 98(6), 1359–1362, <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2012.10.023>.

- Sojka P., Popiołek J., Szczurba J., Pokora S., Stefanowicz A., Pokładnik D., Jeleń K., Pokora K., Podsiedlik A., Poloczek A., 2023. Contemporary treatment options for male hypogonadism. *J. Educ. Health Sport.* 25(1), 107–119, <https://doi.org/10.12775/JEHS.2023.25.01.010>.
- Stachowicz M.A., Lebedzińska A., 2015. Dieta a testosteron w diecie sportowca. *Bromat. Chem. Toksykol.* 48(1), 88–96.
- Szczęśniak M., Grimling B., Meller J., 2014. Cynk – pierwiastek zdrowia. *Farm. Pol.* 70(7), 363–366.
- Wehr E., Pilz S., Boehme B.O., März W., Obermayer-Pietsch B., 2010. Association of vitamin D status with serum androgen levels in men. *Clin. Endocrinol.* 73, 2, 243–48, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2265.2009.03777.x>.
- Wrzosek M., Włodarek D., Woźniak J., 2018. Wpływ cynku, magnezu i witaminy D na produkcję testosteronu u mężczyzn. *Med. Sport.* 34(3), 123–134, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0012.7102>.
- Zalega J., Szostak-Węgierek D., 2013. Żywnienie w profilaktyce nowotworów. Część I. Polifenole roślinne, karotenoidy, błonnik pokarmowy. *Probl. Hig. Epidemiol.* 94(1), 41–49.
- Zdrojewicz Z., Wiśniewska A., 2005. Rola cynku w seksualności mężczyzn. *Adv. Clin. Exp. Med.* 14(6), 1295–1300.
- Żarski T.P., Gorący A., 2017. Aktywność fizyczna w zapobieganiu chorobom układu krążenia. *Zesz. Nauk. WSKFiT* 12, 1–9.

Agata Szymczak¹, Anna Szymaszek¹, Oktawia Wojtaszek¹, Julia Pachocka¹,
Jose Luis Valverde Piedra^{ID}², Sylwia Szymańczyk^{ID}³

Rola błonnika pokarmowego: właściwości, zastosowania i znaczenie w profilaktyce zdrowotnej

The role of dietary fiber: properties, applications, and significance in health prevention

Wstęp

Błonnik pokarmowy to niestrawne składniki roślinne, głównie polisacharydy i lignina, odporne na trawienie w jelicie cienkim, lecz częściowo fermentowane w jelicie grubym. Zgodnie z definicją American Association of Cereal Chemists [Devries i in. 2001] obejmuje nieskrobiowe polisacharydy oraz związki o potwierdzonej aktywności fizjologicznej, wpływające m.in. na metabolizm węglowodanów, lipidów i przemiany fermentacyjne. Dzieli się na frakcje rozpuszczalne (ang. soluble dietary fiber, SDF; np. pektyny, β -glukany) i nierozpuszczalne (ang. insoluble dietary fiber, IDF; np. celuloza, lignina), różniące się mechanizmem działania [Slavin 2013]. Wpływa na mikroflorę, metabolizm i odporność, odgrywając rolę w prewencji otyłości, cukrzycy typu 2, miażdżycy i raka jelita grubego [Gill i in. 2021]. Wzrost zainteresowania błonnikiem jako składnikiem żywności funkcjonalnej podkreśla potrzebę dalszych badań nad jego właściwościami, efektami biologicznymi i zastosowaniami dietoprofilaktycznymi.

Celem niniejszej pracy był przegląd aktualnej wiedzy dotyczącej błonnika pokarmowego, ze szczególnym uwzględnieniem jego właściwości fizykochemicznych, mechanizmów działania biologicznego, znaczenia w żywieniu ludzi i zwierząt, zastosowań technologicznych oraz potencjalnych skutków nadmiernego spożycia.

Klasyfikacja i właściwości fizykochemiczne błonnika pokarmowego oraz mechanizmy jego działania

Błonnik pokarmowy to heterogeniczna grupa związków roślinnych o zróżnicowanej strukturze, właściwościach fizykochemicznych i aktywności biologicznej. Głównym

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Międzywydziałowe Studencie Koło Naukowe Fizjologów, Sekcja Procesów Regulacyjnych i Fizjologii Narządowej, agata.szymczak66@interia.pl

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Katedra Farmakologii, Toksykologii i Ochrony Środowiska

³ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Medycyny Weterynaryjnej, Katedra Fizjologii Zwierząt

kryterium klasyfikacyjnym jest rozpuszczalność w wodzie, na podstawie której rozróżnia się frakcje SDF i IDF [Jones 2014]. Frakcja rozpuszczalna obejmuje m.in. pektyny, gumy roślinne, inulinę, β -glukany, galaktomannany oraz błonnik dekstrynowy, obecne np. w owocach cytrusowych, roślinach strączkowych, ziemniakach, otrębach owsianych, ryżu brązowym oraz ekstraktach z wodorostów. Właściwości żelujące tej frakcji przyczyniają się do zwiększenia lepkości treści jelitowej, spowolnienia opróżniania żołądka, obniżenia glikemii i cholesterolemii oraz intensyfikacji fermentacji jelitowej [Dhingra i in. 2012]. Nierozpuszczalny błonnik pokarmowy, zawierający głównie celulozę, ligninę i hemicelulozy, zwiększa objętość treści jelitowej, przyspiesza pasaż jelitowy i poprawia regularność wypróżnień. Występuje w produktach pełnoziarnistych, otrębach pszennych, orzechach, roślinach strączkowych i warzywach korzeniowych [Bojarska-Hurnik i Skorupińska 2018]. Dodatkowo rozróżnia się błonnik wysokocząsteczkowy (polisacharydy) i niskocząsteczkowy (oligosacharydy). Polisacharydy, zarówno homo- jak i hetero-, tworzą struktury koloidalne i wykazują zdolność wiązania wody oraz adsorpcji toksyn i metali ciężkich. Niskocząsteczkowe oligosacharydy, galaktooligosacharydy czy ksylooligosacharydy, mają właściwości prebiotyczne i wspierają rozwój mikroflory jelitowej. Fizykochemiczne cechy błonnika, takie jak lepkość, pęcznienie, wiązanie wody i fermentowalność, wpływają na metabolizm i homeostazę. Frakcje rozpuszczalne są fermentowane przez mikrobiotę jelitową do lotnych kwasów tłuszczowych (maślan, propionian, octan), które wspierają funkcje nabłonka jelitowego, regulację immunologiczną i metabolizm organizmu [Jha i in. 2019].

Zastosowanie błonnika pokarmowego w technologii żywności i innowacjach produktowych typu *clean label*

Rosnąca świadomość zdrowotna konsumentów oraz wzrost zapotrzebowania na żywność naturalną i minimalnie przetworzoną doprowadziły do intensywnego rozwoju trendu *clean label*, którego podstawą jest eliminacja dodatków syntetycznych i zastępowanie ich substancjami pochodzenia naturalnego. W tym kontekście błonnik pokarmowy, ze względu na swoje właściwości funkcjonalne i fizjologiczne, zyskał status składnika idealnie wpisującego się w nowoczesne strategie żywienia i technologii żywności. Błonnik wykazuje szereg cech technologicznych, takich jak zdolność wiązania wody, tworzenia żeli, stabilizacji emulsji czy działania emulgującego, co umożliwia jego wykorzystanie w wielu produktach spożywczych, w tym w pieczywie, produktach mlecznych, mięsnych i cukierniczych. Różne frakcje błonnika – zarówno SDF, jak i IDF – wpływają na cechy reologiczne, mikrobiologiczne i sensoryczne produktu końcowego, a także przedłużają jego trwałość dzięki ograniczeniu migracji wody i tłuszczu [Faruq i in. 2025].

Przykładem surowca bogatego w błonnik funkcjonalny jest błonnik ziemniaczany, który zawiera 20–24% włókna surowego i 5–7% białka. Dzięki wysokiej zdolności wiązania wody i właściwościom żelującym zwiększa objętość i poprawia konsystencję produktów. Dodatkowo umożliwia redukcję zawartości tłuszczu bez pogorszenia właściwości sensorycznych. Składniki takie jak pektyna, inulina i śluzy wykazują jednocześnie

działanie technologiczne i biologiczne – od wpływu na teksturę po właściwości prebiotyczne [Mudannayake i in. 2022]. Z kolei błonnik cytrusowy, uzyskiwany z przetworzonych odpadów przemysłu owocowego, zawiera wysokie stężenia SDF, zwłaszcza pektyn i gum roślinnych. Surowiec ten wykazuje zdolność tworzenia stabilnych żeli i poprawy cech sensorycznych, takich jak konsystencja czy lepkość, dzięki czemu znajduje zastosowanie m.in. w produkcji deserów mlecznych, wyrobów cukierniczych, napojów oraz produktów mięsnych [Salehi 2021, Howard i in. 2024]. Również błonnik jabłkowy, pozyskiwany z wyłoków jabłkowych – produktu ubocznego polskiego przemysłu owocowego – podnosi wartość odżywczą żywności. Jego dodatek do pieczywa, wypieków bezglutenowych i makaronów pozwala nie tylko na zwiększenie zawartości błonnika w produkcie finalnym, ale także na poprawę tekstury, objętości i stabilności przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalnych właściwości sensorycznych [Gumul i in. 2023].

Wszystkie te właściwości sprawiają, że błonnik pokarmowy idealnie wpisuje się w strategię *clean label*, oferując właściwości technologiczne oraz spełniając oczekiwania dotyczące czystego składu i wartości dodanej żywności funkcjonalnej.

Funkcjonalna rola błonnika w regulacji homeostazy organizmu

Błonnik pokarmowy, tradycyjnie kojarzony jako czynnik zapobiegający zaparciom, współcześnie uznawany jest za aktywny biologicznie składnik diety, wpływający na homeostazę jelitową, odporność i metabolizm [Bojarska-Hurnik i Skorupińska 2018]. Zalecane przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) dzienne spożycie błonnika dla dorosłych wynosi 20–40 g. Po spożyciu frakcje błonnika przechodzą, w formie niestrawionej, przez jelito cienkie i ulegają fermentacji w jelicie grubym, gdzie stanowią substrat dla mikroorganizmów komensalnych, szczególnie w przypadku SDF [Slavin 2013]. Produktem fermentacji błonnika są krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (ang. short-chain fatty acids, SCFA), głównie octany, propioniany i maślan, które stanowią podstawowe źródło energii dla kolonocytów. Wspomagają one utrzymanie integralności bariery jelitowej, regulują pH treści jelitowej oraz wykazują właściwości immunomodulujące i przeciwzapalne [Ríos-Covián in. 2016]. Szczególną rolę w ochronie przed kancerogenezą odgrywają maślan dzięki działaniu antyproliferacyjnemu i proapoptotycznemu wobec komórek nowotworowych [Kunzmann i in. 2015].

Maathuis i współautorzy [2009] dowiedli, że różne typy błonnika, takie jak pullulan, inulina i skrobia oporna, różnią się fermentowalnością oraz zdolnością stymulowania syntezy poszczególnych SCFA. Pullulan wykazywał wysoką skuteczność w zwiększaniu produkcji maślanów oraz promowaniu wzrostu bakterii z rodzaju *Bifidobacterium* i *Faecalibacterium*, które uznawane są za wskaźniki zdrowia jelit [Maathuis i in. 2009]. Frakcje nierozpuszczalne działają mechanicznie – zwiększają objętość stolca, stymulują perystaltykę i skracają czas pasażu jelitowego, co może ograniczać ryzyko rozwoju raka jelita grubego [Zeng i in. 2014]. Zrównoważona podaż obu frakcji błonnika sprzyja regularności wypróżnień, zwiększeniu masy kałowej i utrzymaniu równowagi mikrobiologicznej jelit. Błonnik pokarmowy odgrywa istotną rolę w regulacji metabolizmu, korzyst-

nie wpływając na układ krążenia oraz gospodarkę węglowodanową i lipidową. Rozpuszczalne frakcje błonnika, takie jak β -glukany i pektyny, obniżają poziom cholesterolu całkowitego i LDL przez nasilone wydalenie żółci, redukując ryzyko wystąpienia miażdżycy i nadciśnienia [Du i in. 2021]. Jednocześnie błonnik o wysokiej lepkości (np. psyllium, guma guar) ogranicza poposiłkową glikemię dzięki spowolnieniu wchłaniania glukozy i poprawie wrażliwości insulinowej komórek. Spowalnia opróżnianie żołądka, tworząc struktury żelowe oraz modulując odpowiedź hormonalną [Makki i in. 2018]. Ponadto błonnik wpływa na kontrolę masy ciała, zwiększając sytości, obniżając wartość wskaźnika BMI (ang. body mass index) i redukując ryzyko zespołu metabolicznego [Du i in. 2010]. Obecny w błonniku kwas fitynowy wykazuje właściwości antyoksydacyjne i chelatujące, choć może także ograniczać biodostępność niektórych mikroskładników mineralnych [Zhou i in. 2021]. Wyraźne interakcje błonnika z mikrobiotą jelitową warunkują jego istotną rolę w modulacji odpowiedzi immunologicznej oraz regulacji procesów zapalnych. Fermentacja SDF prowadzi do powstania SCFA, które wspierają integralność bariery jelitowej i wykazują działanie przeciwzapalne, m.in. przez aktywację receptorów GPR41/43, zwiększenie ekspresji IL-10 i hamowanie syntezy TNF- α oraz IL-6. Dodatkowo suplementacja błonnikami prebiotycznymi – takimi jak inulina czy oligofruktoza – stymuluje proliferację komórek dendrytycznych oraz ekspresję TLR-2 i TLR-4 w jelicie grubym, wspierając wrodzoną odpowiedź immunologiczną [De Filippo i in. 2010]. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe wzmacniają również szczelność bariery jelitowej przez indukcję połączeń ścisłych, ograniczając tym samym translokację patogenów i toksyn do krążenia ogólnego [Ríos-Covián i in. 2016]. Niedobór błonnika fermentowalnego oraz dysbioza są związane z przewlekłym stanem zapalnym i rozwojem chorób autoimmunologicznych, co podnosi jego znaczenie w dietoterapii immunomodulacyjnej.

Potencjalne skutki uboczne nadmiernego spożycia błonnika pokarmowego

Pomimo licznych korzyści zdrowotnych przypisywanych błonnikowi pokarmowemu jego nadmierne spożycie może prowadzić do działań niepożądanych. Wysoko-błonnikowa dieta jest nieodpowiednia dla osób z aktywnymi chorobami przewodu pokarmowego. W przebiegu choroby Leśniowskiego-Crohna czy wrzodziejącego zapalenia jelita grubego wskazane jest ograniczenie błonnika podczas zaostrzenia objawów, zwężeń jelit czy po zabiegach chirurgicznych. Niektóre frakcje błonnika, takie jak β -fruktany, mogą indukować odpowiedź zapalną przez aktywację szlaków TLR2/NLRP3 i produkcję ROS (ang. reactive oxygen species) [Singh i in. 2019]. U pacjentów z zespołem jelita drażliwego (ang. irritable bowel syndrome, IBS) zaleca się dietę o niskiej zawartości fermentujących węglowodanów, ponieważ nadmiar błonnika może nasilać objawy, takie jak wzdęcia czy bóle brzucha [Lacy i in. 2016]. W przypadku zaburzeń funkcji trzustki, nadmiar błonnika pogarsza wchłanianie tłuszczów i witamin lipofilnych, co może prowadzić do niedoborów żywieniowych [Dutta i Hlasko 1985]. Mimo że błonnik może wspomagać regulację glikemii, jego nadmierne spożycie wiąże się również z ryzykiem hipoglikemii, szczególnie u pacjentów leczonych insuliną lub lekami hipoglikemizującymi [Kimura

i in. 2021]. Ponadto nadmierne spożycie błonnika ogranicza biodostępność mikroelementów, takich jak żelazo, wapń, cynk i magnez, przez tworzenie nierozpuszczalnych kompleksów, choć zdania na ten temat są podzielone. Z punktu widzenia technologii żywności dodatek błonnika – zwłaszcza β -glukanów – może pogarszać cechy organoleptyczne produktów, obniżając ich twardość, zmieniając barwę i zwiększając utratę masy podczas gotowania [Tosh i Yada 2010].

Konieczne są dalsze badania nad optymalizacją ilości, rodzaju i sposobu podawania błonnika pokarmowego, zarówno w aspekcie żywieniowym, jak i technologicznym. Wiedza ta może przyczynić się do lepszego wykorzystania błonnika jako składnika prozdrowotnego, bez negatywnego wpływu na zdrowie oraz jakość produktów spożywczych.

Błonnik pokarmowy w żywieniu zwierząt

Błonnik odgrywa istotną rolę w żywieniu zwierząt, wspierając mikrobiotę, trawienie i stanowiąc alternatywę dla stymulatorów wzrostu [Gresse i in. 2017].

U przeżuwaczy błonnik strukturalny – głównie frakcje NDF (ang. neutral detergent fiber) i ADF (ang. acid detergent fiber) – stanowi podstawowy substrat fermentacyjny dla mikrobiomu żwacza. Produkty tej fermentacji: octany, propioniany i maślany, są głównym źródłem energii dla organizmu tych zwierząt. Odpowiedni poziom błonnika stymuluje przeżuwanie i wydzielanie śliny, co wpływa na homeostazę pH żwacza i zapobiega powstawaniu kwasicy subklinicznej [Banakar i in. 2018]. Zbyt niskie spożycie włókna prowadzi do obniżenia zawartości tłuszczu mlecznego w wyniku niedostatecznej produkcji octanów – prekursora syntezy tłuszczu. Jednocześnie nadmiar słabo fermentowalnego błonnika może ograniczać pobranie energii i wydajność mleczną, zwłaszcza u krów wysokowydajnych [Zebeli i in. 2008].

W przypadku trzody chlewnej kluczowe znaczenie przypisuje się jakości i frakcji stosowanego błonnika. Umiarkowane ilości włókna nierozpuszczalnego wspierają rozwój przewodu pokarmowego, poprawiają strawność składników pokarmowych oraz kształtują morfologię jelit. Suplementacja diet loch w ciąży błonnikami fermentowalnymi (np. inuliną, otrębami, ekstraktem z wodorostów) wykazuje korzystny wpływ na mikrobiotę i odporność potomstwa, ograniczając występowanie zaburzeń jelitowych u prosiąt [Jha i in. 2019].

W żywieniu drobiu dodatek błonnika może poprawiać morfologię przewodu pokarmowego, zwiększać strawność składników odżywczych oraz wspierać odpowiedź immunologiczną [Sabour i in. 2019]. Badania wskazują również na korzystny wpływ na homeostazę glukozy i lipidów, a także redukcję zachowań patologicznych, np. kanibalizmu, co czyni błonnik potencjalną alternatywą dla takich procedur, jak przycinanie dziobów [Hartini i Choct 2010].

W dietetyce zwierząt towarzyszących, zwłaszcza psów i kotów z nadwagą, cukrzycą lub zaburzeniami jelitowymi, błonnik – szczególnie SDF – znajduje zastosowanie w dietach funkcjonalnych. Poprawia wówczas parametry metaboliczne, obniża glikemię poposiłkową i stężenie insuliny, a także wspiera wzrost korzystnej mikrobioty, m.in. *Bifidobacterium* spp. [Sunvold i in. 1995].

Podsumowanie

Błonnik pokarmowy to bioaktywny składnik diety o szerokim spektrum działania fizjologicznego i zastosowań technologicznych. Wpływa korzystnie na pracę przewodu pokarmowego, mikrobiotę, parametry metaboliczne oraz odpowiedź immunologiczną. Jako składnik technologiczny pełni funkcje stabilizujące i strukturotwórcze, co może być szczególnie istotne w produktach typu *clean label*. Nadmierna podaż błonnika może jednak prowadzić do skutków niepożądanych, takich jak zaburzenia wchłaniania składników mineralnych, objawy jelitowe i pogorszenie cech sensorycznych żywności. Konieczne są dalsze badania nad jego optymalnym wykorzystaniem w żywieniu ludzi i zwierząt, uwzględniające zarówno aspekty zdrowotne, jak i technologiczne.

Bibliografia

- Banakar P.S., Anand Kumar N., Shashank C.G., Neeti L., 2018. Physically effective fibre in ruminant nutrition: a review. *J. Pharmacogn Phytochem.* 7(4), 303–308.
- Bojarska-Hurnik B., Skorupińska J., 2018. Właściwości fizykochemiczne i prozdrowotne błonnika pokarmowego. *Zesz. Nauk. PIM* 5, 123–135.
- De Filippo C., Cavalieri D., Di Paola M., Ramazzotti M., Poullet J.B., Massart S., Collini S., Pie-raccini G., Lionetti P., 2010. Impact of diet in shaping gut microbiota revealed by a comparative study in children from Europe and rural Africa. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 107(33), 14691–14696, <https://doi.org/10.1073/pnas.1005963107>.
- Devries J., Camire M.E., Cho S., Craig S.A.S., Gordon D., Jones J.M., Li B., Lineback D., Pro-sky L., Tunland B., 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World* 46(3), 112–126.
- Dhingra D., Michael M., Rajput H., Patil R.T., 2012. Dietary fibre in foods: a review. *J. Food Sci. Technol.* 49(3), 255–266.
- Du H., van der A.D.L., Boshuizen H.C., Forouhi N.G., Wareham N.J., Halkjær J., Tjønneland A., Overvad K., Jakobsen M.U., Boeing H., Buijsse B., Masala G., Palli D., Sørensen T.I.A., Saris W.H.M., Feskens E.J.M., 2010. Dietary fiber and subsequent changes in body weight and waist circumference in European men and women. *Am. J. Clin. Nutr.* 91(2), 329–336, <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.28191>.
- Du P., Luo K., Wang Y., Xiao Q., Xiao J., Li Y., Zhang X., 2021. Intake of dietary fiber from grains and the risk of hypertension in late midlife women: results from the SWAN Study. *Front. Nutr.* 8, 730205, <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.730205>.
- Dutta S.K., Hlasko J., 1985. Dietary fiber in pancreatic disease: effect of high fiber diet on fat mal-absorption in pancreatic insufficiency and in vitro study of the interaction of dietary fiber with pancreatic enzymes. *Am. J. Clin Nutr.* 41(3), 517–525, <https://doi.org/10.1093/ajcn/41.3.517>.
- Faruq A.A., Farahnaky A., Torley P.J., Buckow R., Eri R., Majzoobi M., 2025. Sustainable ap-proaches to boost soluble dietary fibre in foods: a path to healthier foods, *Food Hydrocoll.* 162, 110880, <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110880>.
- Gill S.K., Rossi M., Bajka B., Whelan K., 2021. Dietary fibre in gastrointestinal health and disease. *Nat. Rev. Gastroenterol. Hepatol.* 18(2), 101–116.
- Gresse R., Chaucheyras-Durand F., Fleury M.A., Van de Wiele T., Forano E., Blanquet-Diot S., 2017. Gut microbiota dysbiosis in postweaning piglets: understanding the keys to health. *Trends Microbiol.* 25(10), 851–863.

- Gumul D., Kruczek M., Ivanišová E., Ślupski, J., Kowalski S., 2023, Apple pomace as an ingredient enriching wheat pasta with health-promoting compounds. *Foods* 12(4), 804, <https://doi.org/10.3390/foods12040804>.
- Hartini S., Choct M., 2010. Effect of mash dietary fiber on performance and cannibalism in laying hens. *J. Indones. Trop. Anim. Agric.* 36(1), 50–54, <https://doi.org/10.14710/jitaa.36.1.50-54>.
- Howard K.R., Runyan Ch.L., Poe A.B., Cassens A.M., Kinman L.A., 2024. Evaluation of citrus fiber as a natural alternative to sodium tripolyphosphate in marinated boneless broiler chicken breast and inside beef skirt (transversus abdominis). *Anim. Biosci.* 37(1), 116–122, <https://doi.org/10.5713/ab.22.0145>
- Jha R., Foughse J.M., Tiwari U.P., Li L., Willing B.P., 2019. Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals. *Front. Vet. Sci.* 6(48), <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00048>.
- Jones J.M., 2014. CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the ‘fiber gap’. *Nutr. J.* 13(34), <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-34>.
- Kimura Y., Yoshida D., Hirakawa Y., Hata J., Honda T., Shibata M., Sakata S., Uchida K., Kitazono T., Ninomiya T., 2021. Dietary fiber intake and risk of type 2 diabetes in a general Japanese population: the Hisayama Study. *J. Diabetes Investig.* 12(4), 527–536, <https://doi.org/10.1111/jdi.13377>.
- Kunzmann A.T., Coleman H.G., Huang W.Y., Kitahara C.M., Cantwell M.M., Berndt S.I., 2015. Dietary fiber intake and risk of colorectal cancer and incident and recurrent adenoma in the Prostate, Lung, Colorectal, and Ovarian Cancer Screening Trial. *Am. J. Clin. Nutr.* 102(4), 881–890, <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.113282>.
- Lacy B.E., Mearin F., Chang L., Chey W.D., Lembo A.J., Simren M., Spiller R., 2016. Bowel disorders. *Gastroenterology* 150(6), 1393–1407.e5.
- Maathuis A., Hoffman A., Evans A., Sanders L., Venema K., 2009. The effect of the undigested fraction of maize products on the activity and composition of the microbiota determined in a dynamic in vitro model of the human proximal large intestine. *J. Am. Coll. Nutr.* 28(6), 657–666, <https://doi.org/10.1080/07315724.2009.10719798>.
- Makki K., Deehan E.C., Walter J., Bäckhed F., 2018. The impact of dietary fiber on gut microbiota in host health and disease. *Cell Host Microbe.* 23(6), 705–715, <https://doi.org/10.1016/j.chom.2018.05.012>
- Mudannayake D.C., Jayasena D.D., Wimalasiri K.M., Ranadheera C.S., Ajlouni S., 2022. Inulin fructans – food applications and alternative plant sources: a review. *Int. J. Food Sci Technol.* 57(9), 5764–5780, <https://doi.org/10.1111/ijfs.15947>.
- Ríos-Covián D., Ruas-Madiedo P., Margolles A., Gueimonde M., de los Reyes-Gavilán C.G., Salazar N., 2016. Intestinal short chain fatty acids and their link with diet and human health. *Front. Microbiol.* 7(185), <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00185>.
- Sabour S., Tabeidian S.A., Sadeghi G., 2019. Dietary organic acid and fiber sources affect performance, intestinal morphology, immune responses and gut microflora in broilers. *Anim. Nutr.* 5(2), 156–162, <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.07.004>.
- Salehi F., 2021. Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: a review. *Food Sci. Nutr.* 9(8), 4666–4686, <https://doi.org/10.1002/fsn3.2430>.
- Singh V., Yeoh B.S., Walker R.E., Xiao X., Saha P., Golonka R.M., Cai J., Bretin A.Ch.A., Cheng X., Liu Q., Flythe M.D., Chassaing B., Shearer G.C., Patterson A.D., Gewirtz A.T., Vijay-Kumar M., 2019. Microbiota fermentation-NLRP3 axis shapes the impact of dietary fibres on intestinal inflammation. *Gut* 68(10), 1801–1812, <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2018-316250>.
- Slavin J., 2013. Fiber and prebiotics: mechanisms and health benefits. *Nutrients* 5(4), 1417–1435, <https://doi.org/10.3390/nu5041417>.

- Sunvold G.D., Fahey G.C. Jr, Merchen N.R., Titgemeyer E.C., Bourquin L.D., Bauer L.L., Reinhart G.A., 1995. Dietary fiber for companion animals: dogs: IV. In vitro fermentation of selected fiber sources by dog fecal inoculum and in vivo digestion and metabolism of fiber-supplemented diets. *J. Anim. Sci.* 73(4), 1099–1109, <https://doi.org/10.2527/1995.7341099x>.
- Tosh S.M., Yada S., 2010. Dietary fibers in pulse seeds and fractions: characterization, functional attributes, and applications, *Food Res. Int.* 43(2), 450–460, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.005>.
- Zebeli Q., Dijkstra J., Tafaj M., Steingass H., Ametaj B.N., Drochner W. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91(5), 2046–2066, <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0572>.
- Zeng H., Lazarova D.L., Bordonaro M., 2014. Mechanisms linking dietary fiber, gut microbiota and colon cancer prevention. *World J. Gastrointest. Oncol.* 6(2), 41–51, <https://doi.org/10.4251/wjgo.v6.i2.41>.
- Zhou D., Zhao Y., Li J., Ravichandran V., Wang L., Huang Q., Chen C., Ni H., Yin J., 2021. Effects of phytic acid-degrading bacteria on mineral element content in mice. *Front. Microbiol.* 12, 753195, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.753195>.

Znaczenie diety, aktywności fizycznej i edukacji żywieniowej w profilaktyce i leczeniu cukrzycy typu 2

The importance of diet, physical activity and nutrition education in the prevention
and management of type 2 diabetes

Wstęp

Cukrzyca jest obecnie jednym z głównych problemów zdrowotnych na świecie. Po raz pierwszy zidentyfikowano ją ok. 3000 lat temu – starożytni Egipcjanie i Hindusi opisywali objawy przypominające tę chorobę. Nazwa „cukrzyca” pochodzi od greckiego słowa *diabetes*, oznaczającego „przechodzić” lub „sączyć się” oraz łacińskiego *mellitus*, co odnosi się do „słodkiego jak miód” smaku moczu osób chorych [Sami i in. 2017]. Jest to przewlekła choroba metaboliczna prowadząca do zaburzeń gospodarki węglowodanowej, co skutkuje przewlekłą hiperglikemią [Egan i Dinneen 2019].

Podstawowym źródłem energii dla organizmu jest glukoza, a jej poziom we krwi regulowany jest przez insulinę – hormon wytwarzany przez trzustkę. W przypadku cukrzycy mechanizm ten ulega zaburzeniu, co prowadzi do nadmiernego podniesienia poziomu glukozy we krwi, określanego jako hiperglikemia. W przebiegu cukrzycy typu 1 mechanizm ten zostaje zaburzony na skutek niedostatecznej produkcji insuliny, a w cukrzycy typu 2 – z powodu insulinooporności, czyli obniżonej wrażliwości tkanek na działanie tego hormonu. W obu przypadkach dochodzi do kumulacji glukozy we krwi [Khursheed i in. 2019]. Rozróżnia się także cukrzycę ciążową, typu LADA (późno ujawniająca się cukrzyca typu 1 u dorosłych) oraz MODY (cukrzyca monogenowa). Niezależnie od typu cukrzyca może prowadzić do wielu powikłań zdrowotnych, takich jak choroby serca, uszkodzenia naczyń krwionośnych, neuropatia (uszkodzenie nerwów), retinopatia cukrzycowa (zmiany w siatkówce oka) czy nefropatia cukrzycowa (zaburzenia w funkcjonowaniu nerek). Długotrwała hiperglikemia osłabia również funkcje układu odpornościowego, co zwiększa podatność organizmu na infekcje [Sami i in. 2017]. Wczesna diagnoza cukrzycy i wdrożenie odpowiednich działań terapeutycznych są kluczowe w zapobieganiu powikłaniom zdrowotnym. W terapii i profilaktyce cukrzycy typu 2 bardzo dobre rezultaty przynoszą zmiany w stylu życia, regularna aktywność fizyczna, utrzymanie

¹ Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Sekcja Ekologicznej Produkcji Żywności, oliwka.zeleznik@wp.pl

² Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Katedra Oceny Jakości i Przetwórstwa Produktów Zwierzęcych

prawidłowej masy ciała, stosowanie zbilansowanej diety opartej na produktach o niskim indeksie glikemicznym (IG) i ładunku glikemicznym (ŁG) oraz systematyczna kontrola poziomu glukozy we krwi [Pai i in. 2012]. W wielu przypadkach, szczególnie w leczeniu cukrzycy typu 2, konieczne jest również zastosowanie farmakoterapii, w tym leków obniżających insulinooporność.

W 2021 r. w Polsce cukrzycę stwierdzono u ok. 2,7 mln osób, nieprawidłową tolerancję glukozy u ok. 2,5 mln osób, a nieprawidłową glikemię na czczo u ok. 748 000 osób. W mapach potrzeb zdrowotnych (MPZ) na lata 2022–2026, ujętych w Rekomendacji nr 7/2024 z 11 grudnia 2024 r. Prezesa Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji w sprawie zalecanych technologii medycznych, działań przeprowadzanych w ramach programów polityki zdrowotnej oraz warunków realizacji tych programów, dotyczących profilaktyki cukrzycy typu 2, wskazano cukrzycę jako jeden z najbardziej istotnych problemów zdrowotnych w Polsce [2024]. Edukacja żywieniowa oraz wsparcie w zakresie zmiany stylu życia odgrywają ważną rolę nie tylko w profilaktyce, ale również kontroli cukrzycy, zapobieganiu jej powikłaniom i poprawie jakości życia pacjentów. Skuteczna profilaktyka powinna obejmować zatem ogół społeczeństwa, co może przyczynić się do zmniejszenia liczby nowych zachorowań w przyszłości [Ellis i in. 2004].

Celem pracy było przedstawienie aktualnej wiedzy na temat czynników ryzyka cukrzycy typu 2 oraz roli profilaktyki, obejmującej edukację żywieniową w zakresie stosowania prawidłowej diety, kontroli spożycia węglowodanów i aktywności fizycznej, jako kluczowych elementów regulacji gospodarki węglowodanowej organizmu.

Wybrane czynniki ryzyka cukrzycy typu 2

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) uznała cukrzycę za jedno z największych zagrożeń zdrowia publicznego. Patogeneza cukrzycy nie została jeszcze w pełni wyjaśniona. Według Rekomendacji nr 7/2024 z 11 grudnia 2024 r. Prezesa Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji w sprawie zalecanych technologii medycznych, działań przeprowadzanych w ramach programów polityki zdrowotnej oraz warunków realizacji tych programów, dotyczących profilaktyki cukrzycy typu 2 do czynników ryzyka wystąpienia cukrzycy typu 2 należą nadwaga lub otyłość, stwierdzenie cukrzycy u członka rodziny w pierwszym stopniu pokrewieństwa, niska aktywność fizyczna, stwierdzony stan przedcukrzycowy w poprzednim badaniu, przebyta cukrzyca ciążowa, zespół policystycznych jajników, choroba lub zdarzenie sercowo-naczyniowe oraz dyslipidemia [2024]. Ryzyko cukrzycy typu 2 znacznie wzrasta u osób z nadmierną masą ciała, co jest ważne tym bardziej, że w wielu krajach, w tym również UE, z roku na rok częstość występowania otyłości gwałtownie rośnie. Nadwaga i otyłość wiążą się z nadmiernym gromadzeniem tkanki tłuszczowej w organizmie, co prowadzi do pogorszenia stanu zdrowia. Do oceny prawidłowości masy ciała często stosuje się wskaźnik Queteleta II, znany jako BMI (ang. body mass index). Jest to też prosty sposób na ocenę ryzyka związanego z wystąpieniem potencjalnych problemów zdrowotnych związanych z nadmierną masą ciała [Maślanek i in. 2013].

Znaczenie edukacji żywieniowej

Skuteczna edukacja żywieniowa oraz wzrost świadomości społecznej na temat cukrzycy stanowią kluczowe elementy w profilaktyce, leczeniu i zarządzaniu tą chorobą. Wiedza pacjentów na temat mechanizmów patofizjologicznych cukrzycy, zasad prawidłowego stylu życia i żywienia oraz metod monitorowania stanu zdrowia znacząco wpływa na jakość ich życia oraz efektywność leczenia. Edukacja diabetologiczna umożliwia osobom chorym lepsze zrozumienie swojej sytuacji zdrowotnej, co ułatwia utrzymanie prawidłowego poziomu glukozy we krwi dzięki stosowaniu zbilansowanej diety, podejmowaniu regularnej aktywności fizycznej oraz systematycznej kontroli parametrów metabolicznych. Ponadto edukacja odgrywa ważną rolę w zwiększaniu świadomości społecznej w zakresie wczesnego wykrywania cukrzycy, podejmowania działań prewencyjnych oraz ograniczania ryzyka powikłań. Programy edukacyjne powinny być zatem integralnym elementem kompleksowej opieki diabetologicznej, wspierając zarówno pacjentów, jak i ich otoczenie w procesie efektywnego zarządzania chorobą [Ellis i in. 2004].

Aktywność fizyczna

Współczesny styl życia, charakteryzujący się siedzącym trybem pracy, powszechnym korzystaniem z technologii oraz ograniczoną ilością ruchu, sprzyja pogorszeniu wydolności i kondycji organizmu oraz przyczynia się do rozwoju chorób cywilizacyjnych. Aktywność fizyczna, podejmowana regularnie, jest ważnym elementem zdrowego stylu życia i odgrywa ważną rolę w profilaktyce oraz utrzymaniu dobrostanu fizycznego, psychicznego, emocjonalnego i społecznego, wspomaga uzyskanie i utrzymanie prawidłowej masy ciała, wpływa na poprawę wrażliwości komórek na insulinę i kontrolę poziomu cukru we krwi. Należy pamiętać, że nawet proste, codzienne aktywności, jak spacer, wchodzenie po schodach, prace domowe, również przynoszą korzyści dla zdrowia [Mirska i in. 2023].

Amerykańskie Towarzystwo Diabetologiczne (American Diabetes Association) zaleca, aby osoby z cukrzycą typu 2 poświęcały co najmniej 150 min w tygodniu na aktywność fizyczną o umiarkowanej intensywności (50–70% maksymalnego tętna) lub przynajmniej 90 min tygodniowo na bardziej intensywną aktywność (>70% maksymalnego tętna) [Pai i in. 2012]. Aktywność fizyczna pełni funkcję narzędzia terapeutycznego zarówno u pacjentów chorujących na cukrzycę, jak i osób zagrożonych jej wystąpieniem. Szczególnie osoby w średnim i starszym wieku powinny być zachęcane do regularnego ruchu. Zalecenia dotyczące aktywności fizycznej dla diabetyków są podobne do tych dla osób zdrowych, a jednym z kluczowych elementów jest uwzględnienie odpowiedniej rozgrzewki i wyciszenia organizmu. Rozgrzewka powinna trwać 5–10 min i obejmować aktywność aerobową o niskiej intensywności (spacer czy jazda na rowerze). Celem tego etapu jest przygotowanie układu mięśniowego, serca i płuc do stopniowego zwiększania intensywności ćwiczeń. Po rozgrzewce należy wykonywać delikatne rozciąganie mięśni przez kolejne 5–10 min, koncentrując się na partiach ciała zaangażowanych w główną

część treningu. Po zakończeniu ćwiczeń faza wyciszenia powinna trwać ok. 5–10 min i stopniowo obniżyć tętno do poziomu sprzed wysiłku. Globalna epidemia cukrzycy typu 2 jest ściśle związana z obniżonym poziomem aktywności fizycznej oraz rosnącą liczbą przypadków otyłości w społeczeństwie. W związku z tym promowanie aktywności fizycznej jako kluczowego elementu zapobiegania i leczenia cukrzycy powinno stanowić priorytet w strategiach zdrowotnych [American Diabetes Association 2004].

Dieta

Dieta jako jeden z kluczowych elementów leczenia cukrzycy odgrywa ważną rolę w kontrolowaniu poziomu glukozy we krwi. Jednak diabetycy często nie zwracają wystarczającej uwagi na jakość spożywanych produktów. Niska aktywność fizyczna w połączeniu z nadmiernym spożyciem żywności wysokoenergetycznej sprzyja rozwojowi otyłości oraz cukrzycy typu 2 [Lal i in. 2021]. Sposób odżywiania ma bezpośredni wpływ na zdrowie, a w przypadku cukrzycy właściwa dieta jest kluczowym elementem terapii. Znaczenie ma nie tylko to, co na co dzień znajdzie się na talerzu, ale również długofalowe konsekwencje wyborów żywieniowych dla zdrowia i ogólnego samopoczucia. Odpowiednio zbilansowana dieta stabilizuje poziom glukozy we krwi i wspomaga utrzymanie prawidłowej masy ciała, kontrolę poziomu cholesterolu oraz redukcję ryzyka chorób sercowo-naczyniowych. Rozważając rolę diety w leczeniu cukrzycy, należy podkreślić znaczenie świadomych decyzji żywieniowych podejmowanych przez pacjentów. Węglowodany stanowią kluczowy składnik odżywczy dostarczający energii – 17 kJ/g (4 kcal/g), a ich główne źródła to produkty bogate w skrobię, takie jak ryż, pszenica, kukurydza, ziemniaki, jęczmień oraz bataty [Lal i in. 2021]. Spożycie żywności zawierającej węglowodany prowadzi do wzrostu poziomu glukozy we krwi. Niemniej jednak różne produkty spożywcze mają odmienny wpływ na poziom glukozy we krwi [Kulczyński i Gramza-Michałowska 2015]. Dlatego diabetycy powinni zwracać szczególną uwagę na IG (określający szybkość wzrostu stężenia glukozy we krwi po spożyciu określonego produktu) i ŁG (uwzględniający zawartość węglowodanów w produkcie). Często zaleca się im dietę o niskim IG [Dyson 2008]. Oba wskaźniki (IG i ŁG) mają kluczowe znaczenie w określaniu reakcji glikemicznej organizmu oraz poziomu insuliny po posiłku, stanowiąc podstawę przy wyborze odpowiednich źródeł węglowodanów w diecie [Baranik i Ostrowska 2011]. Dieta diabetyków powinna bazować na ograniczeniu łatwo przyswajalnych węglowodanów [Scaglioni i in. 2004]. Kontrola IG oraz ŁG odgrywa ważną rolę w prewencji i leczeniu cukrzycy [Adamska i Górka 2008]. Indeks glikemiczny to pole powierzchni pod krzywą stężenia glukozy we krwi, która powstaje w ciągu 2 godzin po spożyciu produktu zawierającego 50 g węglowodanów przyswajalnych. Jest on porównywany do powierzchni krzywej glikemicznej uzyskanej po spożyciu 50 g czystej glukozy, która ma wartość 100. Im mniejszy jest wzrost poziomu glukozy we krwi, tym niższy będzie IG danego produktu. Produkty, których $IG \leq 55$, uznaje się za produkty o niskim IG. Warto-

ści IG dla produktów o średnim IG mieszczą się w przedziale 56–69, a produkty o wysokim IG mają $IG \geq 70$. Wartość IG zależy od wielu czynników, takich jak stopień rozdrobnienia i przetworzenia produktu, zawartość błonnika, rodzaj obecnych węglowodanów, stopień dojrzałości w przypadku owoców i warzyw oraz obecność niektórych składników odżywczych [Kulczyński i Gramza-Michałowska 2015]. Ponadto takie procesy, jak retrogradacja, różne techniki gotowania oraz modyfikacja skrobi za pomocą metod fizycznych i chemicznych prowadzą do obniżenia IG oraz znacznego zwiększenia zawartości skrobi odpornej (ang. resistant starch, RS; część skrobi nietrawiona i niewchłaniana w jelicie cienkim, która ulega fermentacji w jelicie grubym) [Lal i in. 2021]. Proces trawienia węglowodanów prowadzi do uwalniania różnych cukrów prostych do krwi, jednak tylko glukoza ma bezpośredni wpływ na poziom cukru we krwi, co z kolei stymuluje wydzielanie insuliny. Ma to także wpływ na uczucie sytości [Lockyer i Nugenta 2017]. Spożycie żywności o wysokim IG, np. ziemniaków, białego ryżu, białego pieczywa, cukru czy słodzonych napojów, może prowadzić do szybkiego wzrostu poziomu glukozy we krwi, natomiast produktów o niższym IG, takich jak brązowy ryż czy pełnoziarnisty chleb, może spowolnić ten proces, co w efekcie zmniejsza wydzielanie insuliny przez trzustkę, pomagając w utrzymaniu stabilniejszego poziomu cukru we krwi [Solang i in. 2023]. Przykładowe produkty spożywcze o różnych wartościach IG i ŁG przedstawiono w tabeli 1.

Kukurydza, będąca jednym z najpopularniejszych źródeł pożywienia na całym świecie, cieszy się coraz większym zainteresowaniem ze względu na swoje właściwości zdrowotne. W obliczu rosnącej liczby przypadków cukrzycy typu 2 poszukiwanie alternatywnych produktów żywnościowych, które mogą pomóc w kontrolowaniu glikemii, staje się kluczowe. Kukurydza dostarcza wielu cennych składników, takich jak błonnik, żelazo czy β -karoten, co czyni ją nie tylko odżywczym, ale i funkcjonalnym składnikiem diety. Napój z kukurydzy cukrowej (otrzymany w wyniku gotowania, zmielenia i filtrowania ziaren) dzięki niskiemu IG (20,81) i niskiej zawartości węglowodanów może stanowić ważny element diety osób zmagających się z zaburzeniami glikemii. Zatem włączenie tego składnika spożywczego do codziennego jadłospisu może przynieść wiele korzyści zdrowotnych [Solang i in. 2023].

Błonnik pokarmowy odgrywa ważną rolę w utrzymaniu zdrowia metabolicznego, poprawiając proces trawienia. Badania wykazały, że spożycie >50 g błonnika dziennie może obniżyć poziom glukozy w okresie przedposiłkowym [Evert i in. 2014]. Zaleca się, aby diabetycy dostarczali z dietą ok. 25–40 g błonnika pokarmowego na dzień, zapobiega on gwałtownym skokom poziomu glukozy we krwi i pozwala kontrolować glikemię poposiłkową [Platta 2014]. W szczególności korzystny jest błonnik rozpuszczalny w wodzie, taki jak pektyny i β -glukany, obecny w płatkach i otrębach owsianych oraz jęczmiennych, a także nasionach roślin strączkowych [Ostrowska i Jeznach-Steinhagen 2026].

Tab. 1. Indeks (IG) i ładunek glikemiczny (ŁG) wybranych produktów spożywczych
[Baranik i Ostrowska 2011, Kulczyński i Gramza-Michałowska 2015]

Produkt (wartość IG)	Porcja produktu [g]	ŁG porcji produktu
Produkty o niskim indeksie glikemicznym (0–55)		
Kasza gryczana (54)	150	16
Jabłko (38)	120	6
Ryż parboiled (47)	150	17
Pomarańcza (42)	120	5
Chleb pumpernikiel (50)	30	6
Sok marchwiowy (43)	250	10
Marchew gotowana (49)	80	2
Marchew surowa (16)	80	1
Produkty o średnim indeksie glikemicznym (56–69)		
Ryż biały gotowany (64)	150	23
Makaron spaghetti gotowany (61)	180	27
Ananas (59)	120	7
Czarne winogrona (59)	120	11
Rodzynki (64)	60	28
Burak ćwikłowy (64)	80	5
Produkty o wysokim indeksie glikemicznym (IG >70)		
Płatki kukurydziane (81)	30	21
Bagietka zwykła (95)	30	15
Żelki owocowe (78)	30	22
Frytki (75)	150	22
Arbuz (72)	120	4
Dynia (75)	80	3
Bób (79)	80	9

Podsumowanie

Cukrzyca typu 2 jest chorobą metaboliczną, której rozwój jest ściśle związany ze stylem życia i dietą. Niewłaściwe nawyki żywieniowe oraz brak regularnej aktywności fizycznej mogą prowadzić do wzrostu masy ciała, co znacząco zwiększa ryzyko wystąpienia choroby. Zarówno aktywność fizyczna, jak i dieta mają istotny wpływ na przebieg choroby, samopoczucie pacjentów oraz kontrolowanie i regulowanie poziomu glukozy we krwi, a także zwiększanie wrażliwości komórek na insulinę. Diabetycy powinni spożywać 4–5 posiłków dziennie w regularnych odstępach czasowych, kontrolując ilość węglowodanów w każdym posiłku. Przy planowaniu posiłków powinien być uwzględniany stopień przetworzenia żywności, a także wartość jej IG oraz ŁG. Zaleca się zamianę produktów o wysokim stopniu przetworzenia lub wysokim IG na produkty o minimalnym

stopniu przetworzenia i niskim IG. Dlatego też edukacja żywieniowa diabetyków stanowi fundament skutecznego zarządzania chorobą, przyczyniając się do poprawy jakości życia i zwiększenia skuteczności jej leczenia.

Bibliografia

- Adamska E., Górka M., 2008. Indeks i ładunek glikemiczny diety. *Prz. Kardiodiabetol.* 3(3), 223–231.
- American Diabetes Association, Physical activity/exercise and diabetes, 2004. *Diabetes Care* 27(suppl 1), e58–62, <https://doi.org/10.2337/diacare.27.2007.S58>
- Baranik A., Ostrowska L., 2011. Praktyczne zalecenia dotyczące żywienia chorych z cukrzycą typu 2 i otyłością. *For. Zab. Met.* 2(4), 222–230.
- Dyson P., 2008. Glycaemic index: Is it useful for people with diabetes? *J. Diabetes Nurs.* 12(5), 168–176.
- Egan M., Dinneen S.F., 2019. What is diabetes? *Medicine* 47(1), 1–4, <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2018.10.002>
- Ellis S.E., Speroff T., Dittus R.S., Brown A., Pichert J.W., Elasy T.A., 2004. Diabetes patient education: a meta-analysis and meta-regression. *Patient Educ. Couns.* 52(1), 97–105, [https://doi.org/10.1016/S0738-3991\(03\)00016-8](https://doi.org/10.1016/S0738-3991(03)00016-8)
- Evert A.B., Boucher J.L., Cypress M., Dunbar S.A., Franz M.J., Mayer-Davis E.J., Neumiller J.J., Nwankwo R., Verdi C.L., Urbanski P., Yancy W.S. Jr., 2014. Nutrition therapy recommendations for the management of adults with diabetes. *Diabetes Care* 37(suppl 1), 120–143, <https://doi.org/10.2337/dc14-S120>
- Khurshid R., Singh S.K., Wadhwa S., Kapoor B., Gulati M., Kumar R., Ramanunni A.K., Awasthi A., Dua K., 2019. Treatment strategies against diabetes: success so far and challenges ahead. *Eur. J. Pharmacol.* 862, 172625, <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2019.172625>
- Kulczyński B., Gramza-Michałowska A., 2015. Znaczenie indeksu i ładunku glikemicznego w zapobieganiu rozwojowi chorób sercowo-naczyniowych. *Probl. Hig. Epidemiol.* 96(1), 51–56.
- Lal M.K., Singh B., Sharma S., Singh M.P., Kumar A., 2021. Glycemic index of starchy crops and factors affecting its digestibility: a review. *Trends Food Sci. Technol.* 111, 741–755, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.067>
- Lockyer S., Nugent A.P., 2017. Health effects of resistant starch. *Nutr. Bull.* 42(1), 10–41, <https://doi.org/10.1111/nbu.12244>
- Maślanek A., Pieszko M., Małgorzewicz S., 2013. Przyczyny otyłości prostej u dzieci i młodzieży. *For. Zab. Metabol.* 4(1), 29–36.
- Mirska I., Kreft P., Skalski D.W., Kaszowska M., Rybak L., Chernienko O.A., 2023. Aktywność fizyczna wśród dorosłych Polaków chorujących na cukrzycę typu 2. *Rehabil. Recreat.* 15, 148–153, <https://doi.org/10.32782/2522-1795.2023.15.19>
- Ostrowska J., Jeznach-Steinhagen A., 2016. Czynniki wpływające na wartość indeksu glikemicznego oraz jego zastosowanie w leczeniu dietetycznym cukrzycy. *For. Med. Rodz.* 10, 84–90.
- Pai L.W., Chang P.Y., Chen W., Hwu Y.J., Lai C.H., 2012. The effectiveness of physical leisure time activities on glycaemic control in adult patients with diabetes type 2: a systematic review. *JBIS Libr. Syst. Rev.* 10(42), 1–20, <https://doi.org/10.11124/jbislr-2012-251>
- Platta A., 2014. Rola diety bogatoresztkowej w profilaktyce i leczeniu zaparć, otyłości, cukrzycy i chorób układu sercowo-naczyniowego. *Zesz. Nauk. Akad. Mor. Gdyni*, 86, 154–166.

- Rekomendacja nr 7/2024 z 11 grudnia 2024 r. Prezesa Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji w sprawie zalecanych technologii medycznych, działań przeprowadzanych w ramach programów polityki zdrowotnej oraz warunków realizacji tych programów, dotyczących profilaktyki cukrzycy typu 2, https://bip.aotm.gov.pl/assets/files/ppz/2024/REK/11-12-2024%20Rekomendacja_48aa_cukrzyca_BIP.pdf [dostęp: 04.04.2025 r.].
- Sami W., Ansari T., Butt N.S., Ab Hamid M.R., 2017. Effect of diet on type 2 diabetes mellitus: a review. *Int. J. Health. Sci. (Qassim)* 11(2), 65–71.
- Scaglioni S., Stival G., Giovannini M., 2004. Dietary glycemic load, overall glycemic index, and serum insulin concentrations in healthy schoolchildren. *Am. J. Clin. Nutr.* 79(2), 339–340, <https://doi.org/10.1093/ajcn/79.2.339>
- Solang M., Latjompoh M., Butungale S., Abdul A., 2023. Study of corn milk (*Zea mays saccharata* L.) glycemic index (IG) as anti-diabetic foods. *E3S Web of Conf.* 400, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340002010>