

# ŻYWNOŚĆ FUNKCJONALNA W PROFILAKTYCE ZDROWOTNEJ

Agnieszka Trela, Renata Szymańska (Kraków)

## Streszczenie

W odpowiedzi na wykazaną w ostatnich latach zależność pomiędzy sposobem żywienia a zdrowiem człowieka, narodziła się idea żywności funkcjonalnej, która poza dostarczaniem podstawowych składników odżywczych, wykazuje również właściwości prozdrowotne. Zawartość składników aktywnych o udokumentowanym, korzystnym wpływie na stan zdrowia sprawia, że żywność ta znajduje zastosowanie w profilaktyce wielu chorób, zwłaszcza cywilizacyjnych. Obecnie, z uwagi na potwierdzoną licznymi badaniami rolę reaktywnych form tlenu oraz stresu oksydacyjnego w patogenezie wielu schorzeń, szczególne zainteresowanie wzbudzają produkty funkcjonalne zawierające w swym składzie związki aktywne o charakterze antyoksydacyjnym. W niniejszym opracowaniu omówiono na podstawie literatury pojęcie żywności funkcjonalnej oraz przykłady jej wykorzystania w zapobieganiu oraz wspomaganiu leczenia głównych chorób cywilizacyjnych, zaznaczając przy tym rolę związków antyoksydacyjnych.

## Abstract

The concept of functional food developed in response to the increasing knowledge about relationship between nutrition and human health. This term include products which are intended not only to provide necessary nutrient but also to improve health and well-being. The content of active compounds with documented physiological effects allows to use the functional food in the prevention of many diseases, especially civilization diseases. At present, due to the role of reactive oxygen species and oxidative stress in the pathogenesis of many diseases, special attention is paid to functional products containing antioxidant active ingredients. In this paper we discussed the concept of functional food and examples of its use in the prevention and medical treatment support of major civilization diseases, highlighting the role of antioxidant compounds.

## Wprowadzenie

Obserwowana na przestrzeni ostatnich dekad poprawa warunków oraz jakości życia doprowadziła do wzrostu zainteresowania społeczeństwa utrzymaniem jak najlepszego stanu zdrowia oraz opóźnieniem procesów starzenia. Jednocześnie wyniki licznych badań potwierdziły istnienie korelacji między dietą a zdrowiem i funkcjonowaniem organizmu. Wykazano, że sposób żywienia ma istotne znaczenie nie tylko w zapewnieniu zdrowia i dobrego samopoczucia, ale również w rozwoju szeregu chorób. W odpowiedzi na te doniesienia konsumenci przestali traktować żywność wyłącznie jako czynnik zaspokajający głód oraz dostarczający podstawowych składników odżywczych. Pożądane stały się produkty spożywcze, które poza spełnianiem potrzeb żywieniowych wykazują również ukierunkowane działanie prozdrowotne.

W odpowiedzi na wzrastające wymagania konsumentów odnośnie korzyści zdrowotnych diety doszło do rozwoju nowego rynku produktów spożywczych określanych mianem żywności funkcjonalnej (ang. *functional food*).

## Charakterystyka żywności funkcjonalnej

Koncepcję żywności funkcjonalnej opracowali po raz pierwszy Japończycy w latach 80. ubiegłego wieku, definiując ją jako produkty spożywcze o określonym przeznaczeniu zdrowotnym (ang. *Foods for Specified Health Uses*; FOSHU). W Japonii zapoczątkowano badania oraz rozpoczęto produkcję tego typu żywności na skalę przemysłową. Następnie ideą żywności funkcjonalnej zainteresowali się również konsumenci oraz naukowcy w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie oraz Europie, gdzie jej definicja ewolu-

owała. Obecnie brak jest jednolitej, ogólnowiadomościowej definicji żywności funkcjonalnej, jednak najpowszechniejsza jest ta wprowadzona w 1999 r. w ramach europejskiego programu badawczego o nazwie FUSOSE (ang. *Functional Food Science in Europe*). Według niej żywność można nazwać funkcjonalną, jeśli poza efektem odżywczym wykazuje ona udowodniony wpływ na jedną lub więcej funkcji organizmu. Wpływ ten polega na poprawie stanu zdrowia i samopoczucia, a także na zmniejszeniu ryzyka chorób. Uznano, że żywność ta musi przypominać żywność konwencjonalną oraz wykazywać korzystne oddziaływanie w ilościach dostarczanych zwyczajowo, jako część składowa codziennej, zbilansowanej diety. Nie mogą to być suplementy diety lub leki przyjmowane w formie tabletek czy kapsułek [1].

danego wpływu na zdrowie (Tab. 1). Do tradycyjnej postaci żywności funkcjonalnej zalicza się większość owoców i warzyw, zboża, zioła, przyprawy, oleje, nasiona oraz napoje, takie jak kawa czy herbata [19]. Z kolei drugi typ żywności to m.in. produkty o zwiększonym stężeniu związku aktywnego występującego w nich naturalnie lub takie ze specjalnym dodatkiem składnika, który nie jest w nich normalnie zawarty. Mogą to być również produkty o zwiększonej biodostępności lub przyswajalności związków aktywnych, a także żywność, w której usunięto lub obniżono zawartość składników niepożądanych. W produkcji żywności funkcjonalnej stosowane są zwykle produkty regularnie spożywane, takie jak nabiał, produkty zbożowe czy soki owocowe.

Tab. 1. Kategorie produktów funkcjonalnych oraz ich przykłady.

Kategoria produktów	Przykład
Produkt naturalny	Marchew (zawiera m.in. $\beta$ -karoten)
Produkt z dodatkiem składników, które nie występują w nim naturalnie	Margaryna z dodatkiem steroli lub stanoli roślinnych
Produkt, w którym zwiększono zawartość składników występujących w nim naturalnie	Pomidory ze zwiększoną ilością likopenu
Produkt, z którego usunięto niepożądany składnik lub zredukowano jego ilość	Jogurt o obniżonej zawartości tłuszczu

Pojęcie żywności funkcjonalnej jest bardzo szerokie, dlatego jej podziału można dokonać na podstawie różnych kryteriów. W literaturze często spotykana klasyfikacja uwzględnia przeznaczenie stosowania żywności funkcjonalnej w celu zaspokajania ściśle określonych potrzeb zdrowotnych. W tym przypadku wyróżniamy m.in. produkty zmniejszające ryzyko rozwoju chorób sercowo-naczyniowych, chorób nowotworowych, osteoporozy czy żywność dla osób z zaburzeniami metabolicznymi lub trawiennymi. Podział ten obejmuje również produkty funkcjonalne dla osób w określonych stanach fizjologicznych, np. dla kobiet w ciąży, dla sportowców, dla młodzieży w okresie intensywnego wzrostu, dla osób obciążonych stresem, czy dla ludzi starszych. Drugim powszechnym kryterium klasyfikacji jest swoisty skład żywności. Żywność funkcjonalną mogą stanowić produkty naturalne, bogate w jakiś szczególny składnik lub może to być żywność, która została celowo zmodyfikowana technologicznie w celu uzyskania pożą-

Korzyści zdrowotne wynikające ze spożywania produktów funkcjonalnych uwarunkowane są obecnością w ich składzie całej gamy substancji biologicznie aktywnych. Jest to grupa związków pochodzenia roślinnego lub zwierzęcego, które wpływają na funkcje fizjologiczne oraz metaboliczne organizmu [21]. Substancje te działając w pojedynkę, bądź w połączeniu, wywierają pożądany efekt zdrowotny oraz mogą zapobiegać, hamować, a nawet blokować rozwój wielu procesów chorobowych. Składniki biologicznie aktywne, które nadają żywności funkcjonalność to m.in. błonnik pokarmowy, oligosacharydy, bakterie kwasu mlekowego, witaminy (np. B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, C, D, K), mikro- oraz makroelementy (np. Ca, Mg, Zn, Se), antyutleniające (np. witamina E, karotenoidy, flawonoidy, polifenole), białka, aminokwasy, wielonienasycone kwasy tłuszczowe czy „fitozwiązki” (np. fitosterole, fitoestrogeny).

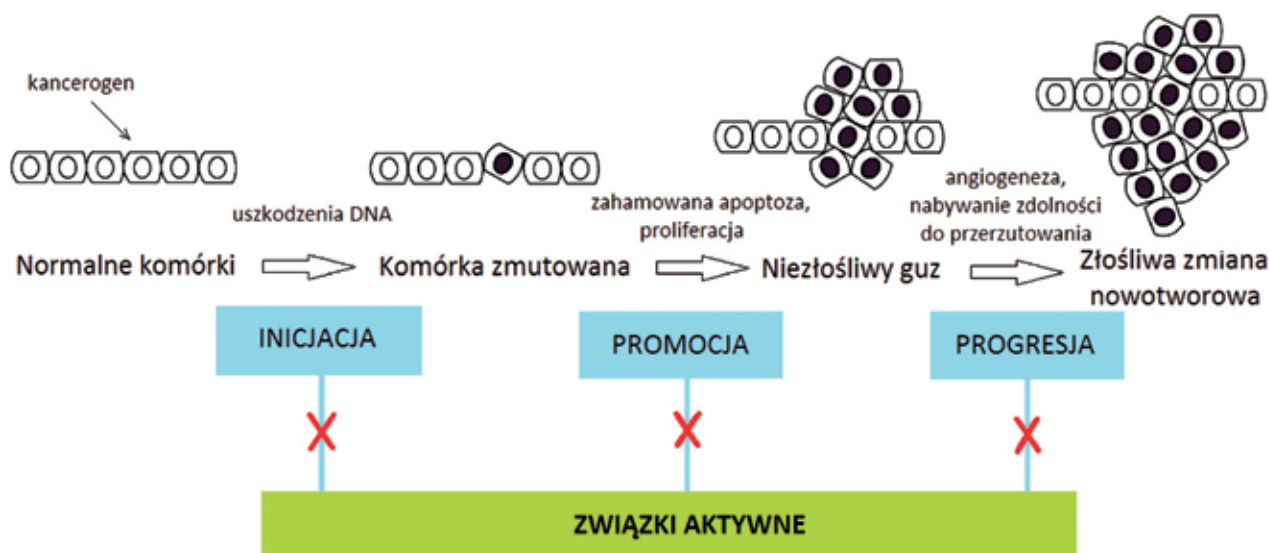
## Zastosowanie żywności funkcjonalnej w profilaktyce zdrowotnej

Ze względu na wzrastające zagrożenie społeczeństwa chorobami cywilizacyjnym, największe zainteresowanie wzbudza obecnie możliwość wykorzystania żywności funkcjonalnej w profilaktyce zdrowotnej. Rozwój nauki umożliwił określenie mechanizmów działania związków aktywnych, które odpowiadają za potencjał terapeutyczny tej grupy żywności.

Obecnie, duża liczba danych potwierdza istotny udział reaktywnych form tlenu (RFT) i generowanego przez nie stresu oksydacyjnego w patogenezie wielu chorób cywilizacyjnych. Dlatego wśród składników aktywnych szczególną rolę przypisuje się związkom aktywnym z grupy antyutleniaczy, które nie tylko przeciwdziałają niszczyielskiemu działaniu RFT, ale wykazują również szereg innych mechanizmów warunkujących ich prozdrowotne efekty. W odpowiedzi na te doniesienia, rynek żywności funkcjonalnej rozpoczął intensywne poszukiwania produktów stanowiących naturalne źródło takich związków. Poniżej przedstawiono zastosowanie wybranych produktów funkcjonalnych w profilaktyce oraz wspomaganie leczenia głównych chorób cywilizacyjnych, skupiając się przy tym na roli związków z grupy antyutleniaczy.

ze sposobów zapobiegawczych jest włączenie do codziennych posiłków produktów funkcjonalnych, zawierających w swym składzie związki aktywne, ingerujące w wieloletni proces kancerogenezy na wszystkich trzech etapach: inicjacji, promocji oraz progresji (Ryc. 1). Takie właściwości wykazują związki o charakterze antyoksydacyjnym [2].

Jednym z najskuteczniejszych antynowotworowych produktów funkcjonalnych jest zielona herbata. Właściwości chemoprewencyjne (czyli zapobieganie rozwojowi nowotworu lub opóźnienie jego powstawania) tego napoju wynikają z obecności flawonoidów, w szczególności galusanu epigallokatechiny (EGCG) [15]. Wykazano, że EGCG hamuje *in vitro* rozwój komórek rakowych piersi, skóry, gruczołu krokowego, płuc, jelita grubego oraz wątroby. Zielona herbata może być skuteczna także w przypadku rzadziej występujących guzów, jak anaplastyczny rak tarczycy, który jest jednym z najgorzej rokujących nowotworów [15]. Wśród mechanizmów działania EGCG odpowiedzialnych za aktywność przeciwnowotworową wymienia się: zmniejszenie produkcji RFT, stymulację wewnętrznych mechanizmów antyoksydacyjnych, indukowanie apoptozy (śmierci) komórek nowotworowych oraz zapobieganie ich proliferacji (namnażaniu). Ponadto EGCG wykazuje



Ryc. 1. Antynowotworowe właściwości związków aktywnych żywności funkcjonalnej, obejmujące ingerencję w etap inicjacji, promocji oraz progresji kancerogenezy.

## Choroby nowotworowe

Nowotwory są poważnym problemem zdrowotnym, który stanowi znaczny odsetek wśród przyczyn zgonów. Zdaniem naukowców, na wystąpienie nowotworów ma wpływ także dieta. Wobec tego, jednym

z sposobów hamowania angiogenezy, czyli procesu powstawania nowych naczyń krwionośnych zaopatrujących komórki rakowe w tlen i składniki odżywcze, niezbędne im do niekontrolowanego wzrostu. EGCG zapobiega także tworzeniu się przerzutów. Dane literaturowe wskazują również, że flawonoidy zielonej

herbaty uwrażliwiają komórki rakowe na działanie chemioterapii oraz radioterapii, a jednocześnie chronią zdrowe komórki przed ich toksycznością [25]. Należy jednak zaznaczyć, że aktywność antynowotworowa zielonej herbaty uzależniona jest od picia znacznych jej ilości – nawet powyżej 10 filiżanek dziennie.

Szerokie działanie prewencyjne oraz terapeutyczne w odniesieniu do chorób nowotworowych wykazuje również soja. Badania epidemiologiczne pokazują, że istnieje ścisła korelacja pomiędzy spożywaniem dużej ilości produktów sojowych, a zmniejszoną zachorowalnością na nowotwory prostaty oraz sutka. Podstawą skuteczności soi jest genisteina, należąca do grupy izoflawonów [15]. Badania *in vitro* oraz *in vivo* wykazały, że związek ten posiada aktywność antyoksydacyjną, hamuje namnażanie i angiogenezę oraz działa proapoptycznie. W literaturze, często podkreślaną właściwością tego izoflawonu jest jego aktywność estrogenowa. Genisteina, ze względu na podobieństwo strukturalne do ludzkich estrogenów, odznacza się silnym powinowactwem do ich receptorów. Połączenie genisteiny z takim receptorem powoduje zahamowanie wzrostu guza i zmniejszenie ryzyka rozwoju nowotworów hormonozależnych [13]. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że genisteina w pewnych przypadkach może przyczynić się do przyspieszenia wzrostu raka piersi. Wyniki najnowszych badań na zwierzętach sugerują, że wczesne, wieloletnie przyjmowanie genisteiny skutkuje zwiększoną ochroną przed nowotworem oraz jego nawrotami. Jednak w przypadku, gdy genisteinę podaje się jedynie w czasie leczenia nowotworu, oporność komórek nowotworowych na terapię oraz ryzyko nawrotów wzrasta [40].

Kolejnym produktem funkcjonalnym o silnym działaniu antynowotworowym jest kurkuma, a właściwości te wynikają z obecności związku aktywnego o nazwie kurkumina. Wśród najważniejszych mechanizmów uzasadniających stosowanie tego produktu w chemoprewencji wymieniane jest działanie przeciwzapalne kurkuminy, które wynika z hamowania aktywności jądrowego czynnika transkrypcyjnego NF- $\kappa$ B – kluczowego elementu w powstawaniu stanu zapalnego [28]. Właściwość ta ma istotne znaczenie, ponieważ нефизjologiczny stan zapalny, utrzymujący się przez dłuższy czas, może stać się przyczyną rozwoju nowotworu. Według danych literaturowych kurkumina jest wysoce selektywna wobec nowotworów skóry, żołądka, dwunastnicy, jelita grubego, wątroby, płuc i piersi [28]. Badania sugerują, że związek ten wykazuje skuteczność nawet w przypadku tak agresywnego nowotworu, jakim jest glejak wielopo-

staciowy. Według najnowszych doniesień, kurkumina wpływa na modulowanie szlaków sygnałowych związanych z żywotnością komórek macierzystych glejaka, które wykazują oporność na tradycyjne leczenie stanowiąc tym samym przyczynę nawrotów [14]. Związek ten jest bezpiecznym środkiem antynowotworowym, jednak ograniczeniem jest jego słaba biodostępność w ludzkim organizmie. Jedną z metod pozwalających zwiększyć wchłanianie tego składnika jest połączenie go z piperyną – związkiem występującym w czarnym pieprzu.

### Choroby sercowo-naczyniowe

Choroby układu sercowo-naczyniowego stanowią najczęstszą przyczynę zgonów wśród ludzi na całym świecie. Do głównych czynników ryzyka rozwoju tych schorzeń, obok uwarunkowań genetycznych oraz stylu życia, należy dieta [4]. Zwiększenie spożycia żywności funkcjonalnej zawierającej substancje o działaniu antyoksydacyjnym może mieć istotne znaczenie kardioochronne (Ryc. 2).

Wśród produktów funkcjonalnych zdolnych do zapobiegania chorobom sercowo-naczyniowym duże zainteresowanie wzbudza gorzka czekolada. Analiza badań wskazuje, że spożywanie dużej ilości tego produktu wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem zdarzeń sercowo-naczyniowych oraz redukcją udarów niedokrwiennych mózgu [8]. Za szczególne właściwości gorzkiej czekolady odpowiadają flawonoidy zawarte w kakao. Związki te, jako antyutleniacze, wykazują zdolność zapobiegania oraz hamowania utleniania lipoprotein o małej gęstości (LDL) oraz przyczyniają się do wzrostu całkowitego potencjału antyoksydacyjnego osocza. Wiele badań wskazuje, że flawonoidy kakao obniżają ciśnienie tętnicze krwi, a działanie to wynika głównie z ich zdolności do stymulacji syntezy tlenku azotu, który sprzyja relaksacji naczyń krwionośnych [27]. Ponadto stwierdzono, że związki występujące w gorzkiej czekoladzie wykazują działanie przeciwzakrzepowe, które związane jest z hamowaniem aktywacji oraz agregacji płytek krwi. W warunkach laboratoryjnych, efekt antypłytkowy flawonoidów kakao był porównywalny to tego uzyskiwanego po zastosowaniu aspiryny [18].

Kolejnym produktem funkcjonalnym o istotnych właściwościach kardioprotekcyjnych jest czerwone wino. Naukowcy potwierdzili, że systematyczne spożywanie tego napoju stanowi przyczynę fenomenu tzw. „francuskiego paradoksu” – zjawiska obserwowanego wśród Francuzów, którzy pomimo teoretycznie niezdrowej diety, odznaczają się stosunkowo

niską zachorowalnością na choroby sercowo-naczyniowe [26]. Czerwone wino zawiera w swym składzie wiele cennych związków aktywnych, wśród których największe znaczenie ma resweratrol. Jak wskazują wyniki badań, czerwone wino przywraca prawidłowe funkcje śródbłonna oraz zmniejsza agregację płytek krwi i stężenie fibrynogenu – białka, które bierze

Korzyści z konsumpcji tego produktu wynikają głównie z obecności polifenolowych antyutleniaczy, które stymulują mechanizmy antyoksydacyjne organizmu oraz hamują produkcję RFT zaangażowanych w utlenianie lipoprotein. W badaniu *in vivo* na zwierzętach wykazano, że podawanie oliwy z oliwek wpływa na profil lipidowy, hamuje aktywność proagregacyj-



Ryc. 2. Potencjalne mechanizmy działania żywności funkcjonalnej w profilaktyce chorób sercowo-naczyniowych.

udział w procesie krzepnięcia [26]. Inną przyczyną kardioprotekcyjnego działania czerwonego wina jest zdolność resweratrolu do hamowania procesów zapalnych, głównie w wyniku obniżenia aktywności czynnika transkrypcyjnego NF- $\kappa$ B [26]. Zaobserwowano, że po spożyciu tego napoju spada poziom większości wskaźników stanu zapalnego, m.in. białka CRP (ang. *C-reactive protein*) [26]. Wyniki ostatnich badań wskazują również, że czerwone wino może chronić naczynia krwionośne przed uszkodzeniami zainicjowanymi paleniem papierosów. Według obserwacji niemieckich naukowców, wypicie wina na godzinę przed paleniem ogranicza negatywne skutki wywołane przez papierosy, w tym ostre stany zapalne [35]. Wymienione powyżej właściwości kardioprotekcyjne czerwonego wina występują przy umiarkowanej konsumpcji tego napoju, która zgodnie z danymi literaturowymi, wynosi zwykle do 200 ml dziennie dla kobiet oraz do 300 ml dziennie w przypadku mężczyzn.

Obiecujące rezultaty wynikają również z włączenia do diety oliwy z oliwek. Wyniki jednego z badań pokazały, że spożywanie najwyższych ilości tego produktu (>31,2 g/dziennie) powoduje znaczne ograniczenie ryzyka choroby wieńcowej serca, w porównaniu do grupy o najniższym spożyciu ( $\leq$ 15,9 g/dziennie) [7].

na płytek krwi, działa przeciwzakrzepowo, a także zmniejsza nasilenie uszkodzeń śródbłonna naczyń krwionośnych [22]. Ponadto składniki aktywne oliwy z oliwek wykazują silne działanie przeciwzapalne, a ich skuteczność w tym zakresie dorównuje skuteczności wynikającej z zastosowania ibuprofenu [29]. Należy jednak pamiętać, że oliwa z oliwek stanowi istotny element kardioprewencji jedynie wtedy, gdy pozyskiwana jest z procesu pierwszego tłoczenia, pozwalającego na zachowanie najwyższego poziomu cennych składników.

### Choroby metaboliczne

Choroby metaboliczne to grupa schorzeń, w przebiegu których dochodzi do zaburzeń przemiany węglowodanów lub tłuszczów. Obecnie najczęściej występującą chorobą tego typu jest otyłość. Najnowsze analizy wskazują, że problem ten dotyczy 640 milionów ludzi na całym świecie, a według przewidywań, w 2025 r. obejmie on nawet 20% globalnej populacji [31]. Wśród związków aktywnych, które mogą być pomocne w profilaktyce oraz wspomaganie leczenia otyłości jest kapsaicyna. Jego głównym źródłem pokarmowym są różne odmiany papryki. Jak

wskazują wyniki badań, związek ten hamuje transkrypcję genów białek zaangażowanych w adipogenezę, czyli proces odpowiadający za gromadzenie się tkanki tłuszczowej [11]. Kapsaicyna pobudza również spalanie energii oraz stymuluje termogenezę. Jednym z postulowanych mechanizmów wzrostu termogenezy jest indukowane kapsaicyną wydzielanie katecholamin i następująca po nim aktywacja receptorów  $\beta$ -adrenergicznych [11]. W eksperymencie na zwierzętach, które karmiono posiłkami bogatymi w tłuszcze, podawanie tego związku wywołało redukcję masy ciała o 8%, w zestawieniu z grupą kontrolną [20]. Według naukowców, kapsaicyna pobudza wydzielanie katecholamin z rdzenia nadnerczy poprzez stymulację ośrodkowego układu nerwowego [39]. W walce z otyłością istotny jest również wpływ tego związku na ograniczenie spożycia pokarmów, wynikający ze zdolności do modulowania poziomu hormonów przewodu pokarmowego związanych z odczuwaniem głodu i apetytem [11].

Potencjał w przeciwdziałaniu otyłości wykazuje również rozmaryn. Związki aktywne tego produktu, które odpowiadają za jego właściwości, to przede wszystkim karnozol oraz kwas karnozowy [17]. W badaniu na myszach karmionych dietą wysokotłuszczową, podawanie przez 50 dni ekstraktu z rozmarynu doprowadziło do ograniczenia wzrostu wagi o 64%, w zestawieniu z grupą kontrolną [17]. Powodem uzyskanego rezultatu było ograniczenie wchłaniania tłuszczu z pokarmu, które wynikało z blokowania aktywności lipazy trzustkowej. Inne doniesienia wskazują, że związki aktywne rozmarynu hamują proces powstawania nowych komórek tłuszczowych oraz normalizują poziom frakcji lipidowych we krwi (tzw. profil lipidowy). Wyniki badania klinicznego pokazały, że podawanie proszku z liści rozmarynu codziennie przez 4 tygodnie osobom z hiperlipidemią czyli wysokim poziomem cholesterolu i trójglicerydów we krwi, skutkuje obniżeniem ich zawartości o 34% (cholesterol całkowity i frakcja LDL) oraz o 29% (trójglicerydy) [24]. Podobny efekt zaobserwowany został również w eksperymentach przeprowadzonych na modelach zwierzęcych [5, 6].

Wśród chorób metabolicznych coraz bardziej powszechna jest również cukrzyca, która objawia się niebezpiecznym wzrostem poziomu glukozy we krwi czyli tzw. hiperglikemią. Obecnie najczęściej występująca jest cukrzyca typu II, która związana jest z opornością komórek organizmu na działanie insuliny. Kluczowym czynnikiem ograniczającym ryzyko rozwoju tej choroby jest odpowiednia dieta.

Wśród żywności funkcjonalnej, która okazuje się pomocna w walce z cukrzycą, wymieniana jest kawa.

Według danych epidemiologicznych istnieje odwrotna zależność między częstym pićm kawy a ryzykiem wystąpienia cukrzycy typu II. Zebrana dotąd wiedza wskazuje, że spożywanie 6 filiżanek kawy dziennie może obniżyć ryzyko tej choroby nawet o 33% [9]. Za hipoglikemiczne właściwości tego napoju odpowiadają zawarte w nim związki aktywne z grupy polifenoli, zwłaszcza kwas chlorogenowy. Badania wykazały, że związek ten spowalnia wydzielanie glukozy do krwi po spożytym posiłku oraz zwiększa czułość komórek obwodowych organizmu na insulinę [3]. Co więcej, polifenole obecne w kawie przyczyniają się również do aktywacji hormonów przewodu pokarmowego, które zwiększają wydzielanie insuliny oraz powodują ograniczenie wchłaniania glukozy w jelicie cienkim [3].

Kolejnym produktem funkcjonalnym, który wykazuje skuteczność w prewencji cukrzycy jest cynamon. Związki aktywne tego produktu powodują zwiększenie wrażliwości komórek na insulinę, co wynika z pobudzania jej receptorów oraz hamowania aktywności białkowej fosfatazy tyrozynowej (PTP-1B) – enzymu, który katalizuje defosforylację receptorów insulinowych zmniejszając tym samym ich aktywność [10]. Badania wykazały, że ekstrakt z cynamonu nasila działanie insuliny niemal 20-krotnie, a efekt ten przewyższa rezultat uzyskiwany po zastosowaniu innych przypraw i ziół [34]. Przeciwcukrzycowe właściwości tego produktu wynikają również z hamowania enzymów, które rozkładają węglowodany złożone do glukozy w przewodzie pokarmowym. Dodatkowo, polifenole cynamonu hamują powstawanie tzw. końcowych produktów zaawansowanej glikacji, czyli nieenzymatycznego procesu wiązania się cząsteczek cukru z cząsteczkami białek, który nasila się w stanie hiperglikemii. Nagromadzenie tych produktów w organizmie może doprowadzić do poważnych powikłań [34].

### Inne choroby

Wśród zastosowań żywności funkcjonalnej wymieniana jest także profilaktyka chorób układu immunologicznego, zwłaszcza powszechnych obecnie alergii. Istotne znaczenie mają tu produkty funkcjonalne bogate w kwercetynę - związek z grupy flawonoidów. Są to przede wszystkim jabłko oraz cebula [30]. Badania dostarczają wyników przemawiających za tym, że związek ten ogranicza syntezę oraz uwalnianie mediatorów procesów zapalnych i reakcji alergicznych, do których należą m.in. histamina, prostaglandyny czy leukotrieny. Metaanaliza 7 badań epidemiologicznych pokazała, że istnieje statystycznie

istotna zależność między wysokim spożyciem jabłek a obniżonym ryzykiem ataków astmy [36]. Według eksperymentu przeprowadzonego na zwierzętach, ponad 25% dostarczonej do organizmu kwercetyny lokalizuje się w komórkach płuc, co zdaniem naukowców, może dodatkowo wpływać na ograniczenie rozwoju astmy [30]. Inne doniesienia wskazują, że kwercetyna może skutecznie zapobiegać reakcjom anafilaktycznym. U szczurów doświadczalnych, które reagowały wstrząsem anafilaktycznym na podanie orzeszków ziemnych, stosowanie kwercetyny przez 4 tygodnie powodowało istotne obniżenie poziomu histaminy, zahamowanie aktywności immunoglobulin E oraz ograniczenie częstości anafilaksji [37].

Zakres działania żywności funkcjonalnej obejmuje również spowalnianie procesów związanych ze starzeniem organizmu. Przykładem takich produktów są czarne borówki (*Vaccinium* sp.) będące bogatym źródłem związków z grupy antocyjanów i polifenoli [32, 38]. Badanie doświadczalne w udziale zwierząt pokazało, że włączenie do diety tych owoców spowolniło związany z wiekiem spadek stężenia tzw. białek szoku termicznego (ang. *heat shock proteins*; HSP), które odgrywają istotną rolę w ochronie komórek organizmu przed czynnikami stresowymi [12]. Według wyników innych badań [16, 38] podawanie borówek starszym szczurom powodowało złagodzenie spadku funkcji poznawczych oraz poprawę sprawności motorycznej. Z kolei wyniki eksperymentu z udziałem ludzi sugerują, że spożywanie soku z borówki (*Vaccinium angustifolium*) (odmiana borówki występująca w Kanadzie i północnych częściach USA) może poprawiać pamięć u starszych osób, dotkniętych łagodnymi zaburzeniami funkcji poznawczych (ang. *Mild Cognitive Impairment*) [23]. Ze względu na małą liczbę badanych, wyniki te wymagają jednak weryfikacji. Istotnym jest również fakt, że ekstrakt z borówek powoduje wydłużanie o 10% średniego okresu żywotności muszek owocówek. Według autorów badania jest to prawdopodobnie związane z pobudzeniem ekspresji genów, które kodują endogenne antyutleniające [33]. W cytowanych pozycjach literaturowych nie ma danych, które wskazywałyby, które związki aktywne borówek odpowiadają za tę właściwość.

Osteoporoza stanowi kolejny poważny problem zdrowotny, zaliczany do chorób cywilizacyjnych. Polega ona na zaburzeniu równowagi pomiędzy zanikiem komórek kostnych a tworzeniem nowych. Występuje często u kobiet w okresie postmenopauzalnym, u których obserwowany jest niedobór estrogenów. Badania naukowe dostarczają danych sugerujących, że istotne znaczenie w profilaktyce osteoporozy mają izoflawony produktów sojowych.

W krajach azjatyckich, gdzie produkty te są podstawą diety, odnotowuje się mniejszą liczbę zachorowań na osteoporozę, w porównaniu do innych rejonów świata. Spożywanie soi zapobiega utracie masy kostnej poprzez ograniczenie eliminacji komórek kostnych oraz jednoczesnej stymulacji tworzenia nowych. Jak podaje literatura, właściwości te wynikają ze wspomnianego wcześniej podobieństwa izoflawonów soi do estrogenów, które odgrywają istotną rolę w metabolizmie kostnym. Co więcej, związki te, tak samo jak ludzkie estrogeny, uczestniczą we wchłanianiu wapnia z przewodu pokarmowego [41].

### Podsumowanie

Przytoczone powyżej przykłady wskazują, że żywność funkcjonalna daje dużą szansę na ograniczenie zachorowalności oraz śmiertelności związanej z chorobami cywilizacyjnymi. Badania dostarczają wyników sugerujących, że produkty funkcjonalne mogą stanowić uzupełnienie dla tradycyjnych leków oraz terapii stosowanych w medycynie. Wydaje się jednak, że istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań nad wpływem takiej żywności na stan zdrowia. Na potrzeby tego typu badań powstała i rozwija się interdyscyplinarna dziedzina nauki zwana nutrigenomiką. Do jej nadrzędnych celów należy identyfikacja mechanizmów warunkujących to, w jaki sposób składniki aktywne pożywienia oddziałują na stan zdrowia, a także analizowanie zależności między dietą a genetycznymi predyspozycjami do chorób cywilizacyjnych. Wiedza na temat tych mechanizmów pozwoli w przyszłości opracowywać bezpieczną żywność funkcjonalną, która będzie mogła stanowić element spersonalizowanej diety.

**Bibliografia**

1. Abdel-Salam A.M. (2010): *Functional Foods: Hopefulness to Good Health*, American Journal of Food Technology, 5: 86-99
  2. Aghajanzpour M., Nazer M.R., Obeidavi Z., Akbari M., Ezati P., Kor N.M. (2017): *Functional foods and their role in cancer prevention and health promotion: a comprehensive review*, American Journal of Cancer Research, 7: 740-769
  3. Akash M.S.H., Rehman K., Chen S. (2014): *Effects of coffee on type 2 diabetes mellitus*, Nutrition, 2014, 30: 755-763
  4. Alissa E.M., Ferns G.A. (2012): *Functional Foods and Nutraceuticals in the Primary Prevention of Cardiovascular Diseases*, Journal of Nutrition and Metabolism, 2012: 1-16
  5. Al-Jamal A.-R., Alqadi T. (2011): *Effects of Rosemary (Rosmarinus officinalis) on Lipid Profile of Diabetic Rats*, Jordan Journal of Biological Sciences, 4: 199-204
  6. Alnahdi H.S. (2012): *Effect of Rosmarinus Officinalis Extract on some Cardiac Enzymes of Streptozotocin-induced Diabetic Rats*, Journal of Health Sciences, 2: 33-37
  7. Bendinelli B., Masala G., Saieva C., Salvini S., Calonico C., Sacerdote C., Agnoli C., Grioni S., Frasca G., Mattiello A., Chiodini P., Tumino R., Vineis P., Palli D., Panico S. (2011): *Fruit, vegetables, and olive oil and risk of coronary heart disease in Italian women: the EPICOR Study*, The American Journal of Clinical Nutrition, 93: 275-83
  8. Buitrago-Lopez A., Sanderson J., Johnson L., Warnakula S., Wood A., Di Angelantonio E., Franco O.H. (2011): *Chocolate consumption and cardiometabolic disorders: systematic review and meta-analysis*, BMJ, 343: d4488
  9. Ding M., Bhupathiraju S.N., Chen M., van Dam R.M., Hu F.B. (2014): *Caffeinated and Decaffeinated Coffee Consumption and Risk of Type 2 Diabetes: A Systematic Review and a Dose-Response Meta-analysis*, Diabetes Care, 37: 569-586
  10. Eijaz S., Salim A., Waqar M.A. (2014): *Possible Molecular Targets of Cinnamon in the Insulin Signaling Pathway*, Journal of Biochemical Technology, 5: 708-717
  11. Fattori V., Hohmann M.S.N., Rossaneis A.C., Pinho-Ribeiro F.A., Verri W.A. (2016): *Capsaicin: Current Understanding of Its Mechanisms and Therapy of Pain and Other Pre-Clinical and Clinical Uses*, Molecules, 21: 844
  12. Galli R.L., Bielinski D.F., Szprengiel A., Shukitt-Hale B., Joseph J.A. (2006): *Blueberry supplemented diet reverses age-related decline in hippocampal HSP70 neuroprotection*, Neurobiology of Aging, 27: 344-350
  13. Garg S., Lule V.K., Malik R.K., Tomar S.K. (2016): *Soy Bioactive Components in Functional Perspective: A Review*, International Journal of Food Properties, 19: 2550-2574
  14. Gersey Z.A., Rodriguez G.A., Barbarite E., Sanchez A., Walters W.M., Ohaeto K.C., Komotar R.J., Graham R.M. (2017): *Curcumin decreases malignant characteristics of glioblastoma stem cells via induction of reactive oxygen species*, BMC Cancer, 17: 99
  15. González-Vallinas M., González-Castejón M., Rodríguez-Casado A., Ramírez de Molina A. (2013): *Dietary phytochemicals in cancer prevention and therapy: a complementary approach with promising perspectives*, Nutrition Reviews, 71: 585-599
  16. Goyarzu P., Malin D.H., Lau F.C., Tagliatalata G., Moon W.D., Jennings R., Moy E., Moy D., Lippold S., Shukitt-Hale B., Joseph J.A. (2004): *Blueberry Supplemented Diet: Effects on Object Recognition Memory and Nuclear Factor-kappa B Levels in Aged Rats*, Nutritional Neuroscience, 7: 75-83
  17. Harach T., Aprikian O., Monnard I., Moulin J., Membrez M., Béolor J.C., Raab T., Macé K., Darimont C. (2010): *Rosemary (Rosmarinus officinalis L.) leaf extract limits weight gain and liver steatosis in mice fed a high-fat diet*, Planta Medica, 76: 566-571
  18. Ishaq S., Jafri L. (2017): *Biomedical Importance of Cocoa (Theobroma cacao): Significance and Potential for the Maintenance of Human Health*, Matrix Science Pharma, 1: 01-05
  19. Jenzer H., Büsse S., Silva M., Sadeghi L. (2016): *Functional food*, BAOJ Nutrition, 2: 014
  20. Joo J.I., Kim D.H., Choi J.W., Yun J.W. (2010): *Proteomic Analysis for Antiobesity Potential of Capsaicin on White Adipose Tissue in Rats Fed with a High Fat Diet*, Journal of Proteome Research, 9: 2977-2987
  21. Kaur S., Das M. (2011): *Functional Foods: An Overview*, Food Science and Biotechnology, 20: 861-875
  22. Khurana S., Venkataraman K., Hollingsworth A., Piche M., Tai T. C. (2013): *Polyphenols: Benefits to the Cardiovascular System in Health and in Aging*, Nutrients, 5: 3779-3827
-



23. Krikorian R., Shidler M.D., Nash T.A., Kalt W., Vinqvist-Tymchuk M.R., Shukitt-Hale B., Joseph J.A. (2010): *Blueberry Supplementation Improves Memory in Older Adults*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58: 3996-4000
24. Labban L., Mustafa U., Ibrahim Y. (2014): *The Effects of Rosemary (Rosmarinus officinalis) Leaves Powder on Glucose Level, Lipid Profile and Lipid Peroxidation*, International Journal of Clinical Medicine, 5: 297-304
25. Lecumberri E., Dupertuis Y.M., Miralbell R., Pichard C. (2013): *Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate (EGCG) as adjuvant in cancer therapy*, Clinical Nutrition, 32: 894-903
26. Liberale L., Bonaventura A., Montecucco F., Dallegri F., Carbone F. (2017): *Impact of Red Wine Consumption on Cardiovascular Health*, Current Medicinal Chemistry, 24: 1-21
27. Ludovici V., Barthelmes J., Nägele M.P., Enseleit F., Ferri C., Flammer A.J., Ruschitzka F., Sudano I. (2017): *Cocoa, Blood Pressure, and vascular Function*, Frontiers in Nutrition, 4: 36
28. Mandal S. (2016): *Curcumin, a promising anti-cancer therapeutic: its bioactivity and development of drug delivery vehicles*, International Journal of Drug Research and Technology, 6: 43-57
29. Martín-Pelaéz S., Covas M.I., Fitó M., Anita Kušar A., Pravst I. (2013): *Health effects of olive oil polyphenols: Recent advances and possibilities for the use of health claims*, Molecular Nutrition & Food Research, 2013, 57: 760-71
30. Mlcek J., Jurikova T., Skrovankova S., Sochor J. (2016): *Quercetin and Its Anti-Allergic Immune Response*, Molecules, 21: 623
31. NCD Risk Factor Collaboration (2016): *Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1698 population-based measurement studies with 19.2 million participants*, Lancet, 387: 1377-1396
32. Peng C., Wang X., Chen J., Jiao R., Wang L., Li Y.M., Zuo Y., Liu Y., Lei L., Ma K.Y., Huang Y., Chen Z-Y. (2014): *Biology of Ageing and Role of Dietary Antioxidants*, BioMed Research International, 2014: 831841
33. Peng C., Zuo Y., Kwan K.M., Liang Y., Ma K.Y., Chan H.Y., Huang Y., Yu H., Chen Z-Y. (2012): *Blueberry extract prolongs lifespan of Drosophila melanogaster*, Experimental Gerontology, 47: 170-178
34. Qin B., Panickar K.S., Anderson R.A. (2010): *Cinnamon: Potential Role in the Prevention of Insulin Resistance, Metabolic Syndrome, and Type 2 Diabetes*, Journal of Diabetes Science and Technology, 4: 685-693
35. Schwarz V., Bachelier K., Schirmer S.H., Werner C., Laufs U., Böhm M. (2017): *Red Wine Prevents the Acute Negative Vascular Effects of Smoking*, The American Journal of Medicine, 130: 95-100
36. Seyedrezazadeh E., Moghaddam M.P., Ansarin K., Vafa M.R., Sharma S., Kolahdooz F. (2014): *Fruit and vegetable intake and risk of wheezing and asthma: a systematic review and meta-analysis*, Nutrition Reviews, 72: 411-28
37. Shishehbor F., Behroo L., Broujerdnia M.G., Namjoyan F., Latifi S.-M. (2010): *Quercetin effectively quells peanut-induced anaphylactic reactions in the peanut sensitized rats*, Iran. J. Allergy Asthma Immunol., 9: 27-34
38. Shukitt-Hale B., Bielinski D.F., Lau F.C., Willis L.M., Carey A.N., Joseph J.A. (2015): *The beneficial effects of berries on cognition, motor behaviour and neuronal function in ageing*, British Journal of Nutrition, 114: 1542-9
39. Watanabe T., Kawada T., Kurosawa M., Sato A., and Iwai K. (1988): *Adrenal sympathetic efferent nerve and catecholamine secretion excitation caused by capsaicin in rats*, American Journal of Physiology, 255: E23-7
40. Zhang X., Cook K.L, Warri A., Cruz I.M, Rosim M., Riskin J., Helferich W., Doerge D., Clarke R., Hilakivi-Clarke L. (2017): *Lifetime Genistein Intake Increases the Response of Mammary Tumors to Tamoxifen in Rats*, Clinical Cancer Research, 23: 814-824
41. Zheng X., Lee S-K., Chun O.K. (2016): *Soy Isoflavones and Osteoporotic Bone Loss: A Review with an Emphasis on Modulation of Bone Remodeling*, Journal of Medicinal Food, 1: 1-14

**Mgr inż. Agnieszka Treła**, doktorantka w Katedrze Fizyki Medycznej i Biofizyki, Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademii Górniczo-Hutniczkiej w Krakowie

**Dr hab. Renata Szymańska**, adiunkt naukowy Katedra Fizyki Medycznej i Biofizyki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. E-mail: renata.szymanska@fis.agh.edu.pl