

# Zastosowanie owoców jagodowych w profilaktyce i leczeniu insulinooporności, cukrzycy typu 2 oraz zaburzeń metabolicznych wchodzących w skład zespołu metabolicznego (ZM)

Use of berry fruits in prophylaxis and treatment of insulin resistance, type 2 diabetes and conditions occurring in metabolic syndrome (MS)

Magdalena Makarowska<sup>1,2</sup>, Anna Agnieszka Klimczak-Bitner<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Zakład Żywnienia i Epidemiologii, Katedra Higieny i Epidemiologii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

<sup>2</sup>Studenckie Koło Naukowe Nutriepigenomiki, Zakład Chemii Biomedycznej, Katedra Biochemii Medycznej, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

<sup>3</sup>Zakład Biofarmacji, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

## Adres do korespondencji:

mgr Magdalena Makarowska  
Uniwersytet Medyczny w Łodzi,  
Zakład Chemii Biomedycznej,  
Katedra Biochemii Medycznej  
ul. Mazowiecka 6/8  
92-215 Łódź, Poland  
e-mail: magdalena.makarowska1@  
student.umed.lodz.pl

Postępy Żywnienia Klinicznego  
2024, tom 19, 107–116

DOI: 10.5603/pzk.98202

ISSN 1896–3706

e-ISSN 2956–9249

Copyright © 2024 Via Medica

## STRESZCZENIE

Zaburzenia wchodzące w skład zespołu metabolicznego, tj. otyłość brzuszna, insulinooporność, hiperglikemia, nadciśnienie, choroby sercowo-naczyniowe, hiperlipidemia, dotyczą coraz młodszych osób oraz przyczyniają się do zwiększonego ryzyka zgonów. Cukrzyca typu 2 jest jednym z najszybciej szerzących się schorzeń obserwowanych w krajach wysokorozwiniętych. Wśród przyczyn tego zjawiska, oprócz spadku aktywności fizycznej, upatruje się złe nawyki żywieniowe, a co za tym idzie wzrost częstości występowania nadwagi i otyłości. Polskie Towarzystwo Diabetologiczne (PTD) zaznacza, że jednym z elementów profilaktyki cukrzycy typu 2 jest wykrycie w odpowiednim czasie insulinooporności oraz wprowadzenie prawidłowego postępowania żywieniowego lub, jeśli już cukrzyca typu 2 zostanie zdiagnozowana, wprowadzenie odpowiedniej dietoterapii w celu unormowania glikemii oraz zapobiegania jej postępowi i konsekwencjom.

Praca poglądowa ma na celu wskazanie zalet i właściwości owoców jagodowych, ze szczególnym uwzględnieniem borówki amerykańskiej (*Vaccinium corymbosum* L.) i jagody czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.), w profilaktyce i leczeniu insulinooporności, cukrzycy typu 2 oraz zaburzeń metabolicznych wchodzących w skład zespołu metabolicznego (ZM).

**Słowa kluczowe:** insulinooporność, cukrzyca typu 2, zespół metaboliczny, owoce jagodowe, profilaktyka (schorzeń zespołu metabolicznego)

## ABSTRACT

Disorders constituting the metabolic syndrome, including visceral obesity, insulin resistance, hyperglycemia, hypertension, cardiovascular diseases and hyperlipidemia are becoming prevalent among younger persons, increasing morbidity rates. Type 2 diabetes is one of the fastest spreading diseases in developed countries. The aetiology of these phenomena, apart from lack of physical activity, is seen in bad dietary practices, resulting in problems associated with overweight and obesity. The Polish Diabetes Association stresses that one of the elements of type 2 diabetes prophylaxis is early detection of insulin resistance and timely application of appropriate dietary practices. Should type 2 diabetes be diagnosed, a diet therapy should be introduced in order to normalize glucose levels and prevent the disease's development and possible ramifications.

The goal of this review paper is to point out the advantageous properties of berry fruits, with extra focus on northern highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) and european blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in prophylaxis and treatment of insulin resistance, type 2 diabetes and metabolic disorders appearing in metabolic syndrome (MS).

**Key words:** insulin resistance, type 2 diabetes, metabolic syndrome, berries, prevention (of metabolic syndrome diseases)

## WSTĘP

Według raportu Departamentu Analiz i Strategii NFZ opublikowanego w 2019 roku na bazie informacji z roku 2018 uzyskanych z Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD, *Organisation for Economic Cooperation and Development*) oraz Unii Europejskiej, liczba chorych na cukrzycę na świecie wzrasta [1, 2]. Portal pacjent.gov.pl ukazuje, że cukrzyca jest diagnozowana u co jedenastego dorosłego Polaka, co się przekłada na około 3 miliony pacjentów. Jednocześnie duży odsetek populacji kraju ma stan przedcukrzycowy, który nie jest diagnozowany w gabinecie lekarskim. Nieleczony stan przedcukrzycowy, występujący w przypadku wysokiego stężenia glukozy we krwi na czczo (100–125 mg/dl) i/lub zaburzonej tolerancji glukozy, w okresie kilku lat niesie ze sobą ryzyko rozwoju pełnoobjawowej cukrzycy [1, 3].

Światowa Organizacja Zdrowia (WHO, *World Health Organization*) w 2016 roku podała dane świadczące o globalnym wzroście występowania cukrzycy u osób dorosłych z 4,7% w 1980 roku do 8,5% w 2014 roku, co w przełożeniu na liczbę chorych oznaczało wzrost z 108 milionów do ponad 422 milionów [1, 4]. Według danych NCD-RisC (*NCD Risk Factor Collaboration*), jednego z bardziej wiarygodnych źródeł danych na temat epidemiologii cukrzycy oraz czynników ryzyka chorób niezakaźnych [5], wśród 44 krajów europejskich Polska zajmuje 13. pozycję pod względem występowania cukrzycy wśród dorosłych mężczyzn i 15. u kobiet. W okresie od 1980 do 2014 roku wystąpił znaczny wzrost zachorowań, który u mężczyzn wyniósł 143%, zaś u kobiet 66% [1, 3]. W oparciu o dane z Polski z 2018 roku uzyskane na podstawie zrealizowanych świadczeń medycznych można stwierdzić, że od 2013 roku nastąpił wzrost zachorowań na cukrzycę o 13,7%. Najwyższy odsetek zachorowań zanotowano w województwie łódzkim oraz śląskim, gdzie w przeliczeniu na 1000 mieszkańców na cukrzycę zapadło około 101–103 osób. Najmniej zachorowań odnotowano w województwie podkarpackim i podlaskim i mieściły się one w przedziale około 79–80 osób na 1000 mieszkańców [3, 4]. W 2018 roku odnotowano blisko 22 tysiące przypadków cukrzycy w populacji osób poniżej 18. roku życia, co stanowiło 3,17% tej grupy wiekowej. W analizie struktury płci wśród dzieci i młodzieży zauważono mniejsze różnice w porównaniu do osób dorosłych. W 2018 roku wśród chorych poniżej 18. roku życia odsetek chłopców wyniósł prawie 52%, podczas gdy dziewczęta stanowiły 48% chorych. Wartości te odpowiednio wyniosły 3,15% populacji dziewcząt i 3,18% populacji chłopców

w 2018 roku, co oznacza wzrost o 1,14% i 3,71% w porównaniu z rokiem 2013 [4].

Przyczynę tego zjawiska upatruje się we wzroście występowania nadwagi i otyłości w populacji w powiązaniu ze zmianami demograficznymi z jednoczesnym spadkiem aktywności fizycznej, które są uznawane za główne czynniki ryzyka rozwoju cukrzycy typu 2 [1, 2]. W etiopatogenezie cukrzycy typu 2 istotną rolę odgrywa interakcja między czynnikami środowiskowymi i genetycznymi, które prowadzą do insulinooporności [6].

Cukrzyca towarzyszą zazwyczaj inne choroby, takie jak choroba niedokrwienna serca — będąca konsekwencją zespołu metabolicznego (ZM), nadciśnienie tętnicze, otyłość trzewna czy zaburzenia lipidowe, które zaobserwowano u około 75% chorujących na cukrzycę dorosłych [3, 4]. Według badań cukrzyca jest chorobą skracającą czas życia średnio o 15 lat, prowadząc jednocześnie do groźnych powikłań i wyniszczenia organizmu. Retinopatia cukrzycowa, udary mózgu, niewydolność nerek, choroba niedokrwienna serca (spowodowana głównie miażdżycą tętnic wieńcowych) czy stopa cukrzycowa to kilka z wielu powikłań cukrzycy typu 2 [4]. Polska zajmuje 10. miejsce spośród 31 krajów europejskich pod względem liczby amputacji kończyn dolnych z powodu neuropatii cukrzycowej.

Obciążenia ekonomiczne związane z leczeniem cukrzycy są ogromne. Jak wynika z danych opublikowanych na portalu pacjent.gov.pl, w 2018 roku aż 1,45 mld złotych zostało przeznaczonych z systemu ubezpieczeń społecznych na leki przeciwcukrzycowe i paski do oznaczania poziomu glukozy. Dodatkowo pacjenci musieli pokryć około 442 mln złotych kosztów z własnej kieszeni. W tym samym czasie hospitalizowano w ramach leczenia cukrzycy około 300 tysięcy osób [3, 4].

Polskie Towarzystwo Diabetologiczne (PTD) każdego roku publikuje lub aktualizuje zalecenia kliniczne oparte na zasadach EBM (*evidence based medicine*), wskazujące na prawidłowe postępowanie u osób chorujących na cukrzycę. Mają one na celu uzyskanie poprawy w zakresie zapobiegania, diagnostyki oraz leczenia cukrzycy i jej powikłań [7]. Do zasad profilaktyki cukrzycy typu 2 należy wczesne diagnozowanie insulinooporności, mogącej prowadzić do stanu przedcukrzycowego. Dalszym postępowaniem powinno być wdrożenie odpowiedniej diety i aktywności fizycznej, mających na celu unormowanie glikemii oraz zapobieżenie postępowi zaburzeń gospodarki węglowodanowej i ewentualnym ich konsekwencjom. Wdrożenie odpowiedniego stylu życia ma również na celu poprawę

parametrów lipidowych i ciśnienia tętniczego. Wymaga to interdyscyplinarnego spojrzenia na chorobę jaką jest cukrzyca oraz wprowadzenie systemu działań, które pozwolą zwiększyć jej wykrywalność oraz umożliwią zapobieganie jej rozwojowi poprzez wprowadzenie ogólnodostępnej edukacji żywieniowej [8–12].

## ZALECENIA ŻYWIENIOWE W INSULINOOPORNOŚCI I CUKRZYCY TYPU 2

Wzorzec żywieniowy wskazany w dietoterapii cukrzycowej zgodnie z rekomendacjami PTD oparty jest o zalecenia dla zdrowej populacji. Zawiera w sobie zasady diety śródziemnomorskiej oraz jej modyfikacje dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjenta [15–21].

Dieta skierowana do osób chorujących na cukrzycę typu 2 powinna:

- zawierać warzywa w ilości około 400 g/dzień oraz owoców około 200 g/dziennie. Warzywa powinny stanowić połowę talerza przy głównych posiłkach. Przy wyborze owoców należy kierować się zasadą niskiego indeksu glikemicznego (IG, *the glycemic index*);
- promować wybór węglowodanów złożonych pod postacią produktów z pełnego przemiału — płatków pełnoziarnistych, grubych kasz, pieczywa oraz wyrobów mącznych z mąki razowej (typ 1850–2000), a także charakteryzować się obecnością nasion roślin strączkowych bogatych w skrobię oporną, stabilizującą wahania glikemii;
- zmniejszać dzienną podaż mięsa czerwonego i jego wyrobów do około 0,5 kg/tydz. Przy wyborze należy kierować się zawartością tłuszczu w mięsie, wybierać chude drób, a jako źródło białka wybierać tłuste ryby morskie, jaja, chudy nabiał oraz nasiona roślin strączkowych, takich jak soja, soczewica, ciecierzycza czy fasola;
- zadbać o źródła wapnia w diecie w postaci dwóch porcji chudego nabiału, tj. chudych serów białych oraz fermentowanych produktów mlecznych — jogurtów, kefirów i maślanek (co pokrywa ok. 60% zapotrzebowania dziennego na ten makroelement);
- charakteryzować się wyborem tłuszczu roślinnego w odpowiedniej ilości, pochodzącego z oliwy, oleju rzepakowego czy oleju lnianego jako dodatku do potraw na zimno, z jednoczesną eliminacją tłuszczu zwierzęcego, który prowadzi do zwiększonego ryzyka incydentów sercowo-naczyniowych oraz cukrzycy typu 2;
- ograniczać łatwo przyswajalne węglowodany w postaci cukru dodanego, słodczy, miodu, napojów słodzonych, produktów mącznych wysokoprzetworzonych. Należy zastąpić je świeżymi owocami i orzechami;
- zredukować ilość soli w diecie na korzyść ziół i przypraw wykazujących silne działanie antyoksydacyjne, na przykład bazylii, oregano, tymianku, rozmarynu, kolendry, ziół prowansalskich, cząbrku, chili, kurkumy, imbiru, pieprzu, cynamonu czy czosnku. Przyprawy takie jak cynamon, imbir, kurkuma czy curry pozytywnie

wpływają na regulację glikemii, co potwierdzają wyniki badań [22, 23];

- zawierać odpowiednią ilość płynów w postaci wody niegazowanej w ilości minimum 1,5 litra dziennie. Zapotrzebowanie na wodę mogą pokryć też soki warzywne, herbaty czy zioła, dozwolona jest niesłodzona kawa czarna z ekspresu lub filtrowana. Z kolei należy wyeliminować słodkie napoje gazowane, słodzone soki owocowe oraz wszelkie napoje z kartonów. Należy także zredukować do minimum spożywanie alkoholu. Ponadto należy zadbać o regularność spożywania posiłków (4–5 dziennie, rozplanowane równomiernie). Prowadzi to do uregulowania glikemii, a także — jeśli posiłki skomponowane są zgodnie z zasadą niskiego ładunku glikemicznego — umożliwi szybkie osiągnięcie uczucia sytości, co ułatwia kontrolowanie ilości spożywanej żywności. Należy pamiętać, że każdą szklankę soku, garść orzechów czy owoc należy traktować jako oddzielny posiłek.

Warto zastosować odpowiednie techniki kulinarne uwzględniające gotowanie na parze i w wodzie, duszenie, pieczenie oraz przygotowywanie potraw w naczyniach żaroodpornych. Ze względu na zachowanie największej ilości wartości odżywczych oraz witamin, a także zachowanie niskiego IG produktu, najbardziej polecaną obróbką termiczną jest gotowanie na parze.

Podczas przygotowywania potraw należy kierować się zasadami niskiego indeksu glikemicznego: nierozdrabnianie produktów, gotowanie *al dente* — półtwardo, unikanie rozgotowywania produktu oraz chłodzenie wcześniej ugotowanego produktu zbożowego, aby doprowadzić do retrogradacji, czyli uzyskania skrobi opornej. Ponadto ważne jest także komponowanie potraw zgodnie z zasadą niskiego ładunku glikemicznego (GL, *the glycemic load*) [20, 24].

Podsumowując, zasady zdrowego gotowania rekomendowane dla osób z insulinoopornością i cukrzycą typu 2 obejmują dokonywanie wyboru produktów o określonym indeksie glikemicznym oraz ładunku glikemicznym.

## DIETA Z NISKIM IG/GL

Pojęcie indeksu glikemicznego wyraża się jako „pole powierzchni pod krzywą odpowiedzi glikemicznej, mierzonej przez 2 godziny po spożyciu 50 g węglowodanów przyswajalnych z badanego produktu spożywczego i wyrażony w stosunku do odpowiedzi glikemicznej na taką samą ilość węglowodanów pochodzącą z produktu standardowego (glukoza) spożytego przez tę samą osobę” [24, 25].

$$\text{Indeks glikemiczny (IG)} = \frac{iAUC^* \text{ produktu badanego}}{iAUC^* \text{ produktu referencyjnego}} \times 100\%$$

\*iAUC (*The Incremental Area Under the Curve*) — pole pod krzywą glikemii poposiłkowej powyżej wartości glikemii oznaczonej na czczo

Im wyższy jest IG spożytej żywności, tym wyższe będzie stężenie glukozy w surowicy krwi po spożyciu tego produktu. Punktem odniesienia jest czysta glukoza

o IG = 100 (maltoza IG = 110). Zakres wartości IG dla produktów węglowodanowych:

- Niski indeks glikemiczny (IG ≤ 55)
- Średni indeks glikemiczny (IG 56–69)
- Wysoki indeks glikemiczny (IG ≥ 70)

Istotnym elementem jest również GL, który odnosi się do produktu oraz jego porcji, uwzględnia ilość zawartych w niej węglowodanów oraz IG. Prawidłowo zbilansowany posiłek spowolnia wchłanianie węglowodanów i zapewni wszystkie składniki odżywcze w diecie.

GL odzwierciedla zawartość węglowodanów w pożywieniu. Wylicza się go według wzoru:

$$GL = \frac{\text{ilość węglowodanów w porcji (g)} \times GI}{100}$$

Zakres wartości GL dla produktów:

- Niski ładunek glikemiczny (≤ 10)
- Średni ładunek glikemiczny (11–19)
- Wysoki ładunek glikemiczny (≥ 20)

Wiele badań wskazuje na to, iż spożywanie posiłków o wysokim GI/GL sprzyja gwałtownemu wzrostowi stężenia glukozy we krwi. Następnie, na skutek dużego wyrzutu insuliny dochodzi do hipoglikemii, co przyspiesza pojawienie się efektu głodu. Ponadto gwałtowne wahania glikemii indukują zmiany hormonalne i metaboliczne, rozregulowują ośrodek głodu i sytości, prowokują spożycie dużych ilości pożywienia, a co za tym idzie mogą prowadzić do nadwagi, otyłości, insulinooporności, cukrzycy typu 2 i konsekwencji tych schorzeń. Dlatego tak istotne znaczenie w profilaktyce obniżonej wrażliwości na insulinę i cukrzycy typu 2 ma dieta oparta o produkty o niskim GI/GL [24, 25].

Celem niniejszego przeglądu jest wskazanie roli owoców jagodowych, ze szczególnym uwzględnieniem borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.) i borówki wysokiej (*Vaccinium corymbosum* L.), w dietoterapii oraz prewencji cukrzycy typu 2, insulinooporności i schorzeń wchodzących w skład zespołu metabolicznego.

## ROLA ANTYOKSYDANTÓW W PROFILAKTYCE CHOROÓB CYWILIZACYJNYCH

Podwyższone stężenie poziomu glukozy oraz wolnych kwasów tłuszczowych w surowicy krwi może doprowadzić do występowania stresu oksydacyjnego. Zjawisko to obserwuje się zarówno w komórkach beta trzustki jak i w wielu tkankach docelowych dla insuliny. Stres oksydacyjny doprowadza do uszkodzenia komórek wysp trzustkowych, nasila insulinooporność tkanek oraz prowadzi do powikłań naczyniowych charakterystycznych dla cukrzycy typu 2 [26, 27].

Stres oksydacyjny prowadzi do podwyższenia stacjonarnych stężeń reaktywnych form tlenu (RFT). Wynika to z zaburzenia równowagi prooksydacyjno-antyoksydacyjnej w kierunku reakcji utleniania i nasila się wraz z wiekiem. Przyjmuje się, że powstające w efekcie RFT mogą aktywować i inicjować wiele patologicznych procesów [27, 28], m.in. zachwianie homeostazy między systemami ochron-

nymi organizmu (aktywność enzymów antyoksydacyjnych) wspomaganymi przez antyoksydanty niskocząsteczkowe a szybkością wytwarzania RFT. Nadmiar reaktywnych form tlenu może uszkadzać komórki i tkanki w efekcie reagowania z białkami, kwasami nukleinowymi czy lipidami. Może to prowadzić do chorób układu krążenia, cukrzycy, nowotworów, schorzeń reumatycznych czy neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Alzheimera czy choroba Parkinsona [27, 29].

Termin RFT opisuje reaktywne pochodne tlenu, zarówno rodnikowe (tj. rodnik hydroksylowy  $\cdot\text{OH}$ , anionodnik ponadtlenkowy  $\text{O}_2^-$ ), jak i nierodnikowe (tj. kwas podchloryny  $\text{HOCl}$ , nadtlenek wodoru  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), które są metabolitami pośrednimi, mogącymi brać udział w reakcjach, podczas których dochodzi do wytwarzania wolnych rodników [28].

Do pozakomórkowych źródeł RFT zaliczamy przede wszystkim przewlekły stres oksydacyjny oraz promieniowanie jonizujące i UV, zanieczyszczenia powietrza (diltlenek siarki  $\text{SO}_2$ , ozon  $\text{O}_3$ , tlenek azotu  $\text{NO}$  czy dym tytoniowy), alkohol, żywność skażoną konserwantami oraz pestycydami: zoocydami (głównie insektycydami), herbicydami czy fungicydami. Do czynników egzogennych zaliczamy też wiele leków oraz substancje chemiczne tworzące RFT podczas przemian enzymatycznych, np. leki przeciwnowotworowe — cytostatyki z grupy antracyklin, czy paracetamol. Dużą grupę stanowią też inne ksenobiotyki znajdujące się w naszym otoczeniu, takie jak barwniki tkanin, kosmetyki, materiały stosowane do izolacji oraz uszczelniania, rozpuszczalniki oraz środki do konserwacji drewna [28].

Wolne rodniki powstają zarówno podczas reakcji metabolicznych, na przykład oddychania tlenowego w mitochondrium czy procesów niszczenia drobnoustrojów przez komórki układu immunologicznego. U osób chorujących na cukrzycę zmiany wywołane przez niszczące działanie wolnych rodników nasilają się wraz z postępem choroby. Zarówno wystąpienie mikroangiopatii, jak i nefropatii wiążą się ze wzrostem stężenia hemoglobiny glikowanej (HbA1C), wodoronadtlenków lipidowych oraz wskaźników lipidowych. Prowadzi to do zwiększenia zakresu uszkodzeń oksydacyjnych oraz obniżenia aktywności enzymów antyoksydacyjnych [27, 32]. Wiele badań wskazuje na ochronną rolę przed stresem oksydacyjnym szeregu składników odżywczych, do których zalicza się przede wszystkim antyoksydanty zawarte w warzywach i owocach. Tworzą one dodatkowy układ wzmacniający naturalną obronę organizmu — opóźniając inicjację reakcji wolnorodnikowej lub ją przerywając — a tym samym prowadzą do przywrócenia homeostazy. Wymienione antyoksydanty mogą hamować reakcje z tlenem lub ozonem oraz mają zdolność wiązania prooksydantów [32]. Badania epidemiologiczne wykazują, że ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2 może być odwrotnie zależne od ilości spożywania antyoksydantów [27], które pełnią niezwykle ważną żywieniowo rolę w zapobieganiu tzw. chorobom cywilizacyjnym. Można wśród nich wyróżnić tokoferole, kwasy organiczne, kwas askorbinowy, selen oraz związki polifenolowe, wśród których

znajdują się antocyjany, izoflawony oraz kwasy fenolowe [38]. Wyjątkowo dużą aktywnością antyoksydacyjną odznaczają się owoce jagodowe, które zawierają polifenole, w tym antocyjany i taniny. Zaliczamy do nich m.in. jagody acai, czarne jagody, borówki czy maliny.

Polifenole stanowią zróżnicowaną pod względem budowy grupę wtórnych metabolitów roślinnych, których wspólną cechą jest możliwość włączania się do reakcji redoks [39]. Substancje te posiadają zdolność eliminacji RFT i wolnych rodników [38]. Pod względem budowy, liczby pierścieni aromatycznych oraz rodzaju ich połączenia dzielą się na grupy, takie jak m.in.: alkohole fenolowe, fenylopropanoidy, flawonoidy, stilbeny, lignany i kwasy fenolowe [40, 41]. Flawan-3-ole są naturalnymi antyoksydantami, które posiadają zdolność hamowania jełczenia tłuszczów nienasyconych oraz stabilizowania barwników roślinnych. Przypisuje się im działanie chemoprewencyjne przeciwko różnym chorobom.

Rola prozdrowotna antocyjanów polega na działaniu antyutleniającym, znacznie silniejszym niż witamina C, E czy  $\beta$ -karoten. Posiadają zdolność neutralizacji wolnych rodników, czyli dbają o równowagę ustroju zapobiegając stresowi oksydacyjnemu, który towarzyszy omawianym w tym artykule schorzeniom związanym z zaburzeniami glikemii [38, 43].

Badania wskazują, że antocyjany są wchłanianie z żywności w niewielkiej ilości, a ich zawartość w osoczu krwi waha się w zakresie nM– $\mu$ M. Są absorbowane w żołądku i jelicie cienkim, a ich spora część nie jest metabolizowana, dlatego warto zadbać o ich stałą podaż w diecie, szczególnie ze względu na brak negatywnych skutków oddziaływania na ludzki organizm [28, 40]. Antocyjany wykazują działanie kardioprotekcyjne i przeciwmiażdżycowe poprzez dobroczynny wpływ na funkcje śródbłonka naczyń — wpływają na jego aktywację oraz uwalnianie tlenu azotu, odpowiedzialnego za rozszerzanie naczyń wieńcowych. Chroni to układ krzepnięcia, zapobiegając agregacji płytek krwi, a także hamuje transport lipoprotein z osocza do ściany naczynia krwionośnego [27]. Ze względu na zdolność uszczelniania oraz zachowania elastyczności naczyń włosowatych, antocyjany regulują ich przepuszczalność i chronią przed miażdżycą oraz obniżają ciśnienie krwi. Posiadają zdolność do hamowania peroksydacji (utleniania) lipidów. Badania wśród pacjentów po przebytych zawałach serca wykazały, że przyjmowanie antocyjanów ogranicza podatność frakcji LDL (lipoproteiny o małej gęstości, *low-density lipoprotein*) cholesterolu na stres oksydacyjny, a także zmniejsza ryzyko incydentów takich jak udar mózgu czy zawał serca. Antocyjany mają też zdolność chelatacji metali, co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia tworzenia wolnych rodników, w tym najbardziej reaktywnego rodnika hydroksylowego [28]. Ich spektrum działania jest bardzo szerokie. Oprócz aktywności antyoksydacyjnej antocyjany wywierają korzystny wpływ na wiele układów, pełnią funkcję regulatorów apoptozy, wpływają na aktywację enzymów, biorą udział

w stymulacji sygnałów i aktywacji receptorów. Uważa się, że wykazują właściwości przeciwzapalne, szczególnie w zakresie obniżania aktywności czynnika martwicy nowotworów TNF- $\alpha$ , którego zwiększona aktywność obserwowana jest w wielu schorzeniach, takich jak otyłość, insulinooporność, cukrzyca typu 2 czy początki miażdżycy [28]. Ważną rolę przypisuje się antocyjanom zawartym w owocach i liściach borówki czernicy (*Vaccinium myrtillus* L.), która obfituje w antocyjanidyny, flawonole i flawanole. Flawonoidy obecne w jej owocach to cyjanidyna, galusan epikatechiny, malwidyna i kwercetyna [44]. Polepszają one mikrokrążenie, zwiększają wydolność żylną kończyn dolnych, a także wpływają na obniżenie dolegliwości w zakresie funkcjonowania narządu wzroku [27]. Barwniki antocyjanowe obecne w jej miąższu i skórce mają wpływ na poprawę ostrości wzroku oraz redukcję związanego z wiekiem ryzyka zapadalności na zwyrodnienie plamki żółtej [28]. Stymulują produkcję rodopsyny, która jest ważna w procesie widzenia. Barwniki antocyjanowe zapobiegają też tzw. „kurzej ślepoty” (poprawiając widzenie po zmierzchu) oraz poprawiają adaptację do ciemności. Ponadto wykazują ochronny wpływ na siatkówkę oka oraz, ze względu na zdolność stabilizacji kolagenu, hamują rozwój jaskry, często towarzyszącej cukrzycy typu 2. Znane jest również działanie chemoprewencyjne barwników antocyjanowych, co jest związane z ich zdolnością do neutralizacji wolnych rodników.

Związki polifenolowe możemy pogrupować, uwzględniając budowę szkieletu węglowego, na 2 rodzaje [42]:

1. Kwasy fenolowe (pochodne kwasu benzoowego i cynamonowego)
2. Flawonoidy

Ekstrakty owoców leśnych przedstawionych w tabeli 1 odznaczają się szerokim zakresem działania antyoksydacyjnego. Przede wszystkim wykazują zdolność hamowania tworzenia rodników tlenu azotu NO $\cdot$  oraz wiązania wolnych rodników. Zapobiegają oksydacyjnej modyfikacji lipoprotein LDL, zwiększają stężenie cholesterolu frakcji HDL (lipoproteiny o wysokiej gęstości, *high density lipoprotein*), a w konsekwencji zapobiegają tworzeniu się blaszki miażdżycowej. Dodatkowo zawarte w tych owocach flawonole wykazują aktywność antymutagenną, przez co zmniejszają ryzyko powstawania zmian nowotworowych [33, 35].

Na tle innych przedstawionych w tabeli 1 owoców jagodowych, borówka czernica wyróżnia się najwyższą ogólną zawartością fenoli, antocyjanów oraz najwyższą zdolnością wiązania rodnika DPPH $\cdot$ . Ów rodnik ma zastosowanie przy określaniu aktywności przeciwutleniającej ekstraktu. Ponadto Vinson i wsp. wykazali, że ekstrakty uzyskane z owoców leśnych wymienionych w tabeli 1 charakteryzują się silniejszymi właściwościami antyoksydacyjnymi niż czyste formy witamin i fenoli, co może świadczyć o uzupełniającym działaniu przeciwutleniaczy [36].

Ze względu na fakt, że aktywność biologiczna substancji antyoksydacyjnych zawartych w produktach roślinnych ma związek z ich biodostępnością, zależną od stopnia

**Tabela 1.** Ogólna zawartość fenoli, antocyjanów oraz zdolność wiązania rodnika DPPH<sup>•</sup> w wybranych owocach jagodowych (na podstawie [32])

Gatunek	Ogólna zawartość fenoli [mg/g suchej masy]	Ogólna zawartość antocyjanów [mg/g suchej masy]	Zdolność wiązania rodnika DPPH <sup>•</sup> [μmole Trolox/g]
Borówka czernica ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	55,1	26,3	287,9
Jeżyna ( <i>Rubus</i> L.)	42,5	10	238,5
Porzeczka czarna ( <i>Ribesnigrum</i> L.)	40,9	15,3	200,3
Malina ( <i>Rubusidaeus</i> L.)	39	4,4	208
Borówka brusznica ( <i>Vacciniumvitis-idaea</i> L.)	35,4	6,1	196,9
Borówka wysoka ( <i>Vacciniumcorymbosum</i> L.)	26,4	6,3	128,4
Truskawka ( <i>Fragaria</i> × <i>ananassa</i> Duchesne)	22,5	2,4	121,6
Żurawina ( <i>Vacciniumoxycoccus</i> L.)	20,1	3,1	92,9
Porzeczka czerwona ( <i>Ribes rubrum</i> L.)	13	2,3	71,3

wchłaniania w przewodzie pokarmowym, należy zadbać o stałą podaż tych składników w codziennej diecie, aby choć część została przyswojona przez nasz organizm.

### OWOCE W DIECIE OSOBY Z CUKRZYCĄ

Zgodnie z rekomendacjami Instytutu Żywności i Żywienia dieta chorujących na cukrzycę powinna zawierać około 200 g owoców o niskiej zawartości cukru [15, 16, 26]. Wśród owoców bezpiecznych dla osób z cukrzycą w pierwszej kolejności wymieniane są owoce jagodowe, na przykład: aronia (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), borówka amerykańska (*Vaccinium corymbosum* L.), jagoda czarna (*Vaccinium myrtillus* L.), jagoda kamczacka (*Lonicera caerulea* L. var. *kamtschatica* Sevast.), poziomka (*Fragaria vesca*), porzeczka czarna (*Ribesnigrum* L.), truskawka (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne) i żurawina (*Vaccinium oxycoccus* L.) [37].

Zaletą spożywania owoców jagodowych (jagody czernicy i borówki wysokiej) jest ich działanie antydiabetyczne, związane m.in. z właściwościami antyutleniającymi antocyjanów. Obniżają one poziom stresu oksydacyjnego, który wpływa hamująco na funkcje komórek β trzustki, obniża insulinowrażliwość oraz spowalnia rozwój powikłań naczyniowych. Dodatkowo Hélder i wsp. wykazali, że żywność bogata w antocyjany może hamować glikemię poposiłkową poprzez skuteczną inhibicję enzymów α-amylazy i α-glukozydazy [44]. Podobnie autorzy pracy pod kierownictwem Calvano wykazali, że wzbogacenie diety w owoce jagodowe, w tym borówkę wysoką i borówkę czernicę, znacząco poprawiło insulinowrażliwość u osób z nadwagą i otyłością z towarzyszącą insulinopornością (HOMA-IR powyżej 2). Szczególnie istotną różnicę w wyhamowaniu tempa poposiłkowego wzrostu stężenia glukozy w osoczu zanotowano w przypadku spożycia napoju z największą dawką antocyjanów (w badaniu użyto ekstraktu z czarnej porzeczki). Miał on też wpływ na zmniejszenie stężenia glukagonopodobnego peptydu 1 (GLP-1, *glucagon-like peptide-1*) w osoczu po 90 minutach po spożyciu. Dzięki wydzieleniu GLP-1 dochodzi do ograniczenia łaknienia i osiągnięcia uczucia sytości, co jest szczególnie ważne dla pacjentów z nadwagą, otyłością czy zaburzeniami glikemii. Autorzy w podsumowaniu wskazali, że podawanie jagód w dużych dawkach może skutecznie łagodzić hiperglikemię popo-

siłkową i hiperinsulinemię. W tej samej pracy dokonano ponadto przeglądu badań oceniających wpływ suplementów diety na bazie jagód u dorosłych z insulinopornością, cukrzycą typu 2 i ryzykiem chorób sercowo-naczyniowych. Przy użyciu testu doustnego testu obciążenia glukozą (OGTT, *oral glucose tolerance test*) wykazano zmniejszenie poposiłkowego stężenia glukozy, a ponadto spadek markerów miażdżycy, stężenia cholesterolu LDL i wzrost stężenia cholesterolu HDL, a także wzrost poziomu adiponektyny, która ma znaczący wpływ na poprawę insulinowrażliwości tkanek. Ponadto w badaniach wykazano korzystne skutki spożycia owoców jagodowych na poprawę składu mikrobiomu jelitowego oraz wskazano działanie ochronne przed naruszeniem integralności bariery jelitowej [45].

Inna praca przeglądowa, autorstwa Burton-Freeman, w której dokonano metaanalizy wpływu spożycia określonych flawonoidów na redukcję ryzyka wystąpienia cukrzycy typu 2 (T2DM), także wykazała związek między spożyciem produktów bogatych we flawonoidy a zmniejszoną częstością występowania cukrzycy typu 2. Badania epidemiologiczne sugerują, żeby wprowadzić do diety flawonoidy, a zwłaszcza antocyjany i flawan-3-ole, które w szczególności korzystny sposób zmniejszają ryzyko występowania tej choroby oraz hamują postępowanie stanu przedcukrzycowego [46].

Ze względu na korzyści zdrowotne, jakie niesie ze sobą spożywanie owoców jagodowych bogatych w związki antyoksydacyjne, w szczególności jagody czarnej i borówki wysokiej, warto wprowadzić je do codziennej diety, najlepiej w postaci surowej. Zawartość substancji o działaniu przeciwutleniającym jest wówczas najwyższa. Ze względu jednak na fakt, że są to owoce sezonowe, warto sięgać także po ich przetwory. Z punktu widzenia właściwości antyoksydacyjnych najmniejsze straty w zawartości substancji bioaktywnych występują w prawidłowo zamrożonym i odmrożonym produkcie. Dość znaczące straty występują w procesie tłoczenia soków, zaś najmniej wartości odnotowuje się w przetworach poddawanych obróbce termicznej [33]. Ponadto przetwory jagodowe w postaci dżemów czy musów bardzo często zawierają duże ilości cukru dodanego, a spożywanie tego typu produktów nie jest rekomendowane w przypadku cukrzycy oraz zaburzeń wchodzących w skład zespołu metabolicznego.

Według autorów przeglądu Pires i wsp. istotne są czynniki środowiskowe, które mogą wpływać na wzrost roślin, a co za tym idzie skład owoców. Zaliczamy do nich warunki klimatyczne (temperatura, wilgotność i nasłonecznienie), warunki uprawy oraz rodzaj gleby. Okazuje się też, że warunki pogodowe wpływają na zawartość fenoli w owocach [44].

Składnikom zawartym w jagodach (*Vaccinium myrtillus* L.) przypisuje się właściwości ochronne przed otyłością. Upatruje się tu mechanizmów obejmujących zmniejszenie wchłaniania lipidów, różnicowania i proliferacji preadipocytów. Ponadto składniki zawarte w tych owocach mają zdolność hamowania lipogenezy, aktywacji lipolizy, redukcji wydzielania prozapalnych cytokin.

Cytowane w przytoczonej pracy badania pod kierownictwem Kowalskiej i wsp. wykazały ponadto, że jagoda czernica posiada zdolność do obniżania akumulacji lipoprotein w surowicy.

Sezer i wsp. wykazali w badaniach właściwości antyproliferacyjne polifenoli zawartych w (*Vaccinium myrtillus* L.) i zasugerowali, że są to jedne z najbardziej obiecujących substancji przeciwnowotworowych. Wyróżniono szczególnie kwercetynę i kempferol obecne w ekstraktach owoców jagody, które charakteryzują się silnym działaniem cytotoksycznym, apoptotycznym i przeciwutleniającym na komórki nowotworowe [48].

Wiedząc, że przyczyną rozwoju i progresji wielu chorób (w tym autoimmunologicznych, cukrzycy, otyłości, zwołnienia narządów i alergii) jest przewlekły stan zapalny, autorzy w przytoczonej pracy dokonali przeglądu badań wykazujących, że bogate w antocyjany jagody posiadają silne właściwości przeciwzapalne, zdolność do redukcji białka C-reaktywnego (CRP, *C-reactive protein*) w surowicy krwi i do obniżania poziomu interleukin IL-6 i IL-12 oraz lipopolisacharydu LPS, a także zdolność do zmniejszenia ekspresji genów, które są ściśle związane ze szlakiem receptorów toll-podobnych (TLR, *Toll-Like Receptors*) u osób z zespołem metabolicznym.

Analizowana praca wykazała także, że spożywanie owoców bogatych w fenole (jagody, borówki) ma wpływ na glikemię i insulinemię poposiłkową u młodych dorosłych — szczególnie działały na obniżenie poziomu insuliny w czasie 30 minut po posiłku. Efekt ten utrzymywał się przez wczesny okres po posiłku i był związany z ilością przyjętych związków fenolowych. Wielu autorów opisywało hamujący wpływ ekstraktów jagodowych bogatych w polifenole na aktywować  $\alpha$ -glukozydazy i amyloglukozydazy, co jest powiązane ze skutecznym kontrolowaniem cukrzycy typu 2 [44]. Również Różańska i wsp. zaobserwowali, że polifenole zwarte w ciemnych owocach, takich jak jagoda, borówka wysoka, czarna porzeczka czy żurawina, odgrywają istotną rolę w profilaktyce cukrzycy typu 2. W badaniach na gryzoniach wykazano, że związki te regulują metabolizm węglowodanów w organizmie, co jest związane ze zwiększeniem translokacji (regulowanej przez insulinę) transportera glukozy 4 (GLUT4, *glucose transporter type 4*)

oraz zwiększeniem sekrecji adiponektyny i zmniejszeniem wydzielania leptyny, a także wpływem na wzrost pobudzenia receptora aktywowanego przez proliferatory peroksyosomów- $\gamma$  (PPAR- $\gamma$ , *peroxisome proliferator-activated receptor*). Tak jak w wyżej przytoczonych badaniach, autorzy stwierdzili, że związki fenolowe zmniejszają stan zapalny w organizmie, ponadto, w badaniach prowadzonych zarówno na ludziach, jak i na zwierzętach udowodniono, że antocyjany zmniejszają insulinooporność, zwiększając tym samym wrażliwość tkanek na działanie endogennej insuliny. Wykazali, że antocyjany miały wpływ na zwiększenie przyswajania i wykorzystania glukozy przez tkanki. W omawianej pracy wskazano mechanizm wyjaśniający wpływ antocyjanów na obniżenie glikemii poposiłkowej, którym jest zdolność tych substancji do hamowania  $\alpha$ -glukozydazy i  $\alpha$ -amylazy trzustkowej. Dodatkowo wykazano, że mają one wpływ na wydzielanie insuliny po posiłku, sugerując, że pokarmy bogate w związki fenolowe mogą być jednym z elementów diety wspierającym profilaktykę oraz leczenie cukrzycy typu 2 [47]. Także w przeglądzie autorstwa Stull i wsp. autorzy na podstawie badań epidemiologicznych wykazali, że zarówno ekstrakty, jak i całe owoce jagód i borówek, będące źródłem bioaktywnych antocyjanów, mogą zmniejszyć ryzyko zachorowania na cukrzycę typu 2. Włączenie jagód do diety, co wykazano zarówno w badaniach przedklinicznych, jak i klinicznych, miało wpływ na poprawę insulinowrażliwości oraz poprawiało tolerancję glukozy, co udowodniono w teście OGTT. Autorzy zaznaczyli, że ze względu na małą liczbę badań nie można jeszcze niepodważalnie mówić o przeciw-cukrzycowym działaniu jagód, niemniej jednak obecne wyniki są obiecujące i potrzeba długoterminowych, randomizowanych badań z podwójną ślepą próbą, aby ustalić jednoznacznie rolę jagód zarówno w profilaktyce, jak i wspomaganiu leczenia cukrzycy typu 2 [49].

Podobnie Kowalska i wsp. zaznaczają potrzebę prowadzenia dalszych, prawidłowo zaprojektowanych badań klinicznych. Według badaczek istnieją mocne dowody na korzystny wpływ spożywania jagód na zdrowie pacjentów z zaburzeniami typowymi dla zespołu metabolicznego, dlatego istnieje potrzeba określenia ich najskuteczniejszej dawki w terapii oraz opracowanie innowacyjnych produktów żywności funkcjonalnej pozwalających na ich spożywanie przez cały rok [50]. Na koniec należy wspomnieć o pozytywnym wpływie związków fenolowych na skład mikrobioty jelitowej, która pełni zasadniczą rolę w profilaktyce cukrzycy typu 2 oraz zespołu metabolicznego. Biodostępność związków fenolowych zależy także od składu mikrobiomu w jelitach. Wankhade i wsp. wykazali, że mikrobiota jelitowa może być korzystnie modyfikowana przez składniki zawarte w owocach jagodowych [50] (tab. 2).

## PODSUMOWANIE

Zgodnie z rekomendacjami PTD, elementem profilaktyki i leczenia insulinooporności oraz cukrzycy typu 2 jest wprowadzenie prawidłowego postępowania żywieniowe-

**Tabela 2.** Zawartość składników odżywczych oraz związków antyutleniających w owocach *Vaccinium corymbosum* L i *Vaccinium myrtillus* L. — opracowanie własne na podstawie [52, 53]

Składniki	<i>Vaccinium corymbosum</i> L. Borówka wysoka [100 g]	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. Czarne jagody [100 g]
Wartość energetyczna [kcal/kJ]	62/260	51/214
Woda [%]	82,3	86,1
Białko [g]	7	8
Tłuszcze [g]	5	6
Węglowodany ogółem [g]	15,3	12,2
Węglowodany przyswajalne [g]	Brak danych	32
Błonnik pokarmowy [g]	1,5	3,2
Popiół [mg]	300	300
Magnez [mg]	~5,0 * oznaczenie dla odmiany borówka niska	2
Fosfor [mg]	13	14
Wapń [mg]	15	15
Potas [mg]	81	62
Sód [mg]	1	1
Żelazo [mg]	1	0,7
Witamina A [j.m.]	100	20
Witamina B <sub>1</sub> (tiamina) [mg]	0,03	0,02
Witamina B <sub>2</sub> (ryboflawina) [mg]	0,06	0,02
Witamina B <sub>3</sub> (niacyna) [mg]	0,5	0,28
Witamina C [mg]	14	14,7
Witamina B <sub>6</sub> [mg]	Brak danych	0,06
Witamina E [mg]	Brak danych	1.88
Kwas foliowy [μg]	Brak danych	6
β-karoten [mg]	Brak danych	0,03
Flawanole [mg]		
• Katechiny	1,8	0,2
• Epikatechiny	0,5	2,0
Flawonole [mg]		
• Kwercetyna	0,1	0,8
• Myrecytna	Brak danych	0,4
• Rutyna	3,1	0,2
Kwasy fenolowe [mg]		
• Kwas chlorogenowy	70	23,1
• Kwas kawowy	0,2	0,3
• Kwas ferulowy	2,2	0,4
• Kwas p-kumarowy	Brak danych	0,3
• Kwas elagowy	1,8	6,2
• Kwas galusowy	1,8	6,2
Stilbeny [mg]		
• Trans-resweratrol	0,4	0,2
SUMA Fenoli [mg]	80,2	35,3
Antocyjany [mg]		
• Delfinidyna-3-galaktozyd	23,4	167,1
• Delfinidyna-3-glukozyd	15,04	169,1
• Cyjanidyna-3-galaktozyd	4,02	122,6
• Delfinidyna-3-arabinozyd	24,6	152,3
• Cyjanidyna-3-glukozyd	2,6	130,4
• Petunidyna-3-galaktozyd	11,7	50
• Cyjanidyna-3-arabinozyd	3,5	110,6
• Petunidyna-3-glukozyd	12,4	101,9
• Peonidyna-3-galaktozyd	11,8	13,3
• Petunidyna-3-arabinozyd	9,3	23,9
• Peonidyna-3-glukozyd	2,1	56,7
• Malwidyna-3-galaktozyd	34,9	27,5
• Peonidyna-3-arabinozyd	1	4,5
• Malwidyna-3-glukozyd	31,2	67,7
• Malwidyna-3-arabinozyd	34,7	12,8
Suma [mg]	212,4	1210,3



go w celu unormowania glikemii, a także zapobiegania jej postępowi oraz powikłaniom choroby.

Dlatego niezbędne jest interdyscyplinarne spojrzenie na cukrzycę, system działań pozwalający na zwiększenie jej wykrywalności, a także zapobieganie jej powstawaniu poprzez edukację żywieniową [9, 15–17, 24]. Dieta o niskim IG i GL, oparta o zasady diety śródziemnomorskiej, jest ostatnio jednym z rekomendowanych modeli żywieniowych w dietoterapii tych schorzeń [24, 25]. Owoce jagodowe, ze szczególnym uwzględnieniem borówki amerykańskiej (*Vaccinium corymbosum* L.) i jagody czarnej (*Vaccinium myrtillus* L.), to jeden z istotnych elementów zdrowej diety wspomagającej leczenie zaburzeń gospodarki węglowodanowej oraz zapobieganie ich powikłaniom. Wyróżniają się na tle innych owoców wysoką zawartością związków antyoksydacyjnych o udowodnionych właściwościach zdrowotnych. Są ponadto owocami sezonowymi łatwo dostępnymi w Polsce, dlatego warto poszerzać edukację żywieniową pacjentów o informacje na temat ich roli w codziennej diecie.

### Informacje o artykule

**Wkład autorski:** mgr Magdalena Makarowska dietetyk — absolwentka Uniwersytetu Medycznego w Łodzi, Katedra Higieny i Epidemiologii UM w Łodzi, Zakład Żywnienia i Epidemiologii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, dr Anna Klimczak-Bitner — Zakład Chemii Biomedycznej, Katedra Biochemii Medycznej, Wydział Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

**Finansowanie:** Ze środków własnych

**Podziękowania:** Autorka Magdalena Makarowska składa serdeczne podziękowania pani dr Annie Klimczak-Bitner za umożliwienie powstania tej pracy

**Konflikt interesów:** Brak konfliktu interesów.

### PIŚMIENNICTWO

- NFZ o zdrowiu. Cukrzyca. 2019. <https://ezdrowie.gov.pl/portal/home/badania-i-dane/zdrowe-dane/raporty/nfz-o-zdrowiu-cukrzyca>.
- OECD and European Union. Health at a Glance: Europe 2018: State of Health in the EU Cycle. OECD Publishing. 2018, doi: 10.1787/health\_glance\_eur-2018-en.
- Cukrzyca w liczbach. <https://pacjent.gov.pl/arttykul/cukrzyca-w-liczbach>.
- NFZ o zdrowiu. [https://zdrowedane.nfz.gov.pl/pluginfile.php/205/mod\\_resource/content/4/nfz\\_o\\_zdrowiu\\_cukrzyca.pdf](https://zdrowedane.nfz.gov.pl/pluginfile.php/205/mod_resource/content/4/nfz_o_zdrowiu_cukrzyca.pdf).
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Worldwide trends in diabetes since 1980: a pooled analysis of 751 population-based studies with 4.4 million participants. *Lancet*. 2016; 387(10027): 1513–1530, doi: 10.1016/S0140-6736(16)00618-8, indexed in Pubmed: 27061677.
- Sieradzki J. Cukrzyca i zespół metaboliczny. In: Szczeklik A. ed. Choroby wewnętrzne—Stan wiedzy na rok 2011. Medycyna Praktyczna, Kraków 2011: 1274–1318.
- Bhargava K, Jaeschke R. Evidence-based Medicine: An overview. *J Sci Res Med Sci*. 2001; 3(2): 105–112, indexed in Pubmed: 24019716.
- Strategia prewencji i leczenia cukrzycy w Polsce 2015–2025. <https://ippez.pl/wp-content/uploads/2019/03/Cukrzyca-20251.pdf>.
- Saliburska J, Kuśnierek J. Czynniki żywieniowe i pozażywniowe w rozwoju insulinooporności. *Forum Zaburzeń Metabolicznych*. 2010; 1(3): 177–183.
- Drzycimska-Tatka B, Drab-Rybczyńska A, Kasprzak J. Zespół metaboliczny—epidemia XXI wieku. *Hygeia Public Health*. 2011; 46(4): 423–430.
- Ferrannini E, Natali A, Capaldo B, et al. Insulin resistance, hyperinsulinemia, and blood pressure: role of age and obesity. *European Group for the Study of Insulin Resistance (EGIR). Hypertension*. 1997; 30(5): 1144–1149, doi: 10.1161/01.hyp.30.5.1144.

- Bednarska-Chabowska D, Adamiec R. Zespół X — otwarty problem współczesnej medycyny. *Przegląd Lekarski*. 1998; 55(9): 450–456.
- Barter PJ, Gotto AM, LaRosa JC, et al. HDL cholesterol, very low levels of LDL cholesterol, and cardiovascular events. *N Engl J Med*. 2007; 357(13): 1301–1310, doi: 10.1056/NEJMoa064278, indexed in Pubmed: 17898099.
- Matulewicz N, Karczevska-Kupczewska M. Insulinooporność a przebieg reakcja zapalna. *Postępy Hig Med Dosw*. 2016; 70: 1245–1257, doi: 10.5604/17322693.1226662.
- Olshanecka-Glinianowicz M. Zmiana nawyków żywieniowych - podstawa leczenia. *Mag.Pielęg.Położ*. 2013; 7/8: 28.
- Polskie Towarzystwo Diabetologiczne. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u osób z cukrzycą 2023. *Stanowisko Polskiego Towarzystwa Diabetologicznego. Current Topics in Diabetes*. 2023; 3(1): 1–140.
- Araszkiewicz A, Bandurska-Stankiewicz E, Budzyński A, et al. Zalecenia kliniczne dotyczące postępowania u chorych na cukrzycę 2020 — Stanowisko PT. *Diabetologia Praktyczna*. 2020; 6(1): 1–106.
- Jarosz M. Piramida Zdrowego Żywnienia i Aktywności Fizycznej. In: Jarosz M. ed. *Dietetyka, żywność, żywienie w prewencji i leczeniu*. Instytut Żywności i Żywnienia, Warszawa 2017: 93–97.
- Jarosz M, Rychlik E. Normy żywienia. Tabele zbiorcze. In: Jarosz M. ed. *Dietetyka, żywność, żywienie w prewencji i leczeniu*. Instytut Żywności i Żywnienia, Warszawa 2017: 35–61.
- Szostak WB, Cichocka A. Dieta śródziemnomorska w profilaktyce i leczeniu chorób układu krążenia i cukrzycy. *Wyd. Medyk, Warszawa* 2015.
- Baranik A, Ostrowska L. Praktyczne zalecenia dotyczące żywienia chorych z cukrzycą typu 2 i otyłością. *Forum Zaburzeń Metabolicznych*. 2011; 2(4): 222–230.
- Dzienis-Strączkowska S, Szelachowska M, Karolczuk-Zarachowicz M. Cynamon—rola w leczeniu cukrzycy? *Kurier Medyczny - diabetologia*. 2013.
- Kulczyński B, Gramza-Michałowska A. Znaczenie wybranych przypraw w chorobach sercowo-naczyniowych. *Postępy Hig Med Dosw*. 2016; 70(1131): 1141–10.5604/17322693.1224252.
- Jarosz M, Siuba M, Gułaga S. Indeks glikemiczny a masa ciała. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*. 2008; 35(5-6): 443–454.
- Kulczyński B, Gramza-Michałowska A. Znaczenie indeksu i ładunku glikemicznego w zapobieganiu rozwoju chorób sercowo-naczyniowych. *Problemy Higieny i Epidemiologii*. 2015; 96: 51–56.
- Brownlee M. Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature*. 2001; 414(6865): 813–820, doi: 10.1038/414813a, indexed in Pubmed: 11742414.
- Jurgowiak M, Oliński R. Wolne rodniki a starzenie się. *Kosmos*. 1995; 44(1): 71–88.
- Zabłocka A, Janusz M. Dwa oblicza wolnych rodników tlenowych. *Postępy Hig Med Dosw*. 2008; 62: 118–124.
- Bartosz G. Druga twarz tlenu. Wolne rodniki w przyrodzie. *Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa* 2003: 99–120.
- Reaktywne formy tlenu. *Zakład Chemii Medycznej, Pomorski Uniwersytet Medyczny*. <https://www.docsity.com/pl/reaktywne-formy-tlenu-charakterystyka-zagadnienia/5793827/>.
- Piotrowska A, Góralczyk M, Żebrowska-Krasuska M. Owoce jagodowe i ich przetwory jako źródła przeciwutleniaczy. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*. 2013; 2: 98–103.
- Szajdek A, Borowska J. Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2004; 11(4 Spec).
- Muzolf-Panek M. Aktywność przeciwutleniająca i protutleniająca katechin występujących w herbacie zielonej (rozprawa doktorska). *Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Wydział Towaroznawstwa Katedra Instrumentalnych Metod Oceny Jakości, Poznań* 2009.
- Grajek W. Rola przeciwutleniaczy w zmniejszaniu ryzyka wystąpienia nowotworów i chorób krążenia. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2004; 1: 3–11.
- Vinson J, Dabbagh Y, Serry M, et al. Plant Flavonoids, Especially Tea Flavonols, Are Powerful Antioxidants Using an in Vitro Oxidation Model for Heart Disease. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002; 43(11): 2800–2802, doi: 10.1021/jf00059a005.
- Muraki I, Imamura F, Manson JE, et al. Fruit consumption and risk of type 2 diabetes: results from three prospective longitudinal cohort studies. *BMJ*. 2013; 347: f5001, doi: 10.1136/bmj.f5001, indexed in Pubmed: 23990623.

37. Gozdecka G, Kaniewska J, Domoradzki M, et al. Ocena zawartości wybranych składników bioaktywnych w przetworach z borówki czernicy. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2015; 1(98): 170–180.
38. Piątkowska E, Kopeć A, Leszczyńska T. Antocyjany – charakterystyka, występowanie i oddziaływanie na organizm człowieka. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2011; 4(77): 24–35.
39. Szaniawska M, Taraba A, Szymczyk K. Budowa, właściwości i zastosowanie antocyjanów. *Engineering Sciences And Technologies*. 2015(2), doi: [10.15611/nit.2015.2.06](https://doi.org/10.15611/nit.2015.2.06).
40. Majtkowski W, Balcerek M, Majtkowska G. Porównanie zawartości związków fenolowych i aktywności antyoksydacyjnej u wybranych gatunków traw z kolekcji Ogrodu Botanicznego KCRZG w Bydgoszczy. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*. 2016(280): 79–86, doi: [10.37317/biul-2016-0008](https://doi.org/10.37317/biul-2016-0008).
41. Gheribi E. Związki polifenolowe w owocach i warzywach. *Medycyna Rodzinna*. 2011; 4: 111–115.
42. Rosołowska-Huszcz D. Antyoksydanty w profilaktyce i terapii cukrzycy typu II. *Żywność Nauka Technologia Jakość*. 2007; 6(55): 62–70.
43. Katsube N, Iwashita K, Tsushida T, et al. Induction of apoptosis in cancer cells by Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *J Agric Food Chem*. 2003; 51(1): 68–75, doi: [10.1021/jf025781x](https://doi.org/10.1021/jf025781x), indexed in Pubmed: [12502387](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12502387/).
44. Pires TC, Caleja C, Santos-Buelga C, et al. *Vaccinium myrtillus* L. Fruits as a Novel Source of Phenolic Compounds with Health Benefits and Industrial Applications - A Review. *Curr Pharm Des*. 2020; 26(16): 1917–1928, doi: [10.2174/1381612826666200317132507](https://doi.org/10.2174/1381612826666200317132507), indexed in Pubmed: [32183662](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32183662/).
45. Calvano A, Izuora K, Oh EC, et al. Dietary berries, insulin resistance and type 2 diabetes: an overview of human feeding trials. *Food Funct*. 2019; 10(10): 6227–6243, doi: [10.1039/c9fo01426h](https://doi.org/10.1039/c9fo01426h), indexed in Pubmed: [31591634](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31591634/).
46. Burton-Freeman B, Brzeziński M, Park E, et al. A Selective Role of Dietary Anthocyanins and Flavan-3-ols in Reducing the Risk of Type 2 Diabetes Mellitus: A Review of Recent Evidence. *Nutrients*. 2019; 11(4), doi: [10.3390/nu11040841](https://doi.org/10.3390/nu11040841), indexed in Pubmed: [31013914](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31013914/).
47. Różańska D, Regulska-Illow B. The significance of anthocyanins in the prevention and treatment of type 2 diabetes. *Adv Clin Exp Med*. 2018; 27(1): 135–142, doi: [10.17219/acem/64983](https://doi.org/10.17219/acem/64983), indexed in Pubmed: [29521054](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29521054/).
48. Sezer ED, Oktay LM, Karadaş E, et al. Assessing Anticancer Potential of Blueberry Flavonoids, Quercetin, Kaempferol, and Gentisic Acid, Through Oxidative Stress and Apoptosis Parameters on HCT-116 Cells. *J Med Food*. 2019; 22(11): 1118–1126, doi: [10.1089/jmf.2019.0098](https://doi.org/10.1089/jmf.2019.0098), indexed in Pubmed: [31241392](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31241392/).
49. Stull AJ. Blueberries' Impact on Insulin Resistance and Glucose Intolerance. *Antioxidants (Basel)*. 2016; 5(4), doi: [10.3390/antiox5040044](https://doi.org/10.3390/antiox5040044), indexed in Pubmed: [27916833](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27916833/).
50. Kowalska K, Olejnik A. Current evidence on the health-beneficial effects of berry fruits in the prevention and treatment of metabolic syndrome. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2016; 19(6): 446–452, doi: [10.1097/MCO.0000000000000322](https://doi.org/10.1097/MCO.0000000000000322), indexed in Pubmed: [27583706](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27583706/).
51. Wankhade UD, Zhong Y, Lazarenko OP, et al. Sex-Specific Changes in Gut Microbiome Composition following Blueberry Consumption in C57BL/6J Mice. *Nutrients*. 2019; 11(2), doi: [10.3390/nu11020313](https://doi.org/10.3390/nu11020313), indexed in Pubmed: [30717265](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30717265/).
52. Moze S, Polak T, Gasperlin L, et al. Phenolics in Slovenian bilberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *J Agric Food Chem*. 2011; 59(13): 6998–7004, doi: [10.1021/jf200765n](https://doi.org/10.1021/jf200765n), indexed in Pubmed: [21574578](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21574578/).
53. Kunachowicz H, Przygoda B, Nadolna I, Iwanow K. Tabele składu i wartości odżywczej żywności. Wydawnictwo Lekarskie PZWL 2018.