

# Owoce borówek jako cenne źródło polifenoli o właściwościach prozdrowotnych

Sara Janowska<sup>1</sup>, Monika Wujec<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zakład Patobiochemii i Interdyscyplinarnych Zastosowań Chromatografii Jonowej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Polska

<sup>2</sup>Katedra i Zakład Chemii Organicznej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Polska

Farmacja Polska, ISSN 0014-8261 (print); ISSN 2544-8552 (on-line)

## Adres do korespondencji

Sara Janowska, Zakład Patobiochemii i Interdyscyplinarnych Zastosowań Chromatografii Jonowej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Collegium Universum, ul. Chodźki 1, 20-093 Lublin, Polska; e-mail: sara.janowska@wp.pl

## Źródła finansowania

Nie wskazano źródeł finansowania.

## Konflikt interesów

Nie istnieje konflikt interesów.

Otrzymano: 2023.10.10

Zaakceptowano: 2023.11.06


Opublikowano on-line: 2023.11.20

## DOI

10.32383/farmpol/174892

## ORCID

Sara Janowska -  0000-0002-2881-7552

Monika Wujec -  0000-0001-9816-1934

## Copyright

© Polskie Towarzystwo Farmaceutyczne

To jest artykuł o otwartym dostępie,

na licencji CC BY NC 

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

by-nc/4.0/

## Bilberries as valuable sources of polyphenols with health-promoting properties

**Subject of research.** *Vaccinium uliginosum* L. (swamp blueberry) and *Vaccinium myrtillus* L. (black blueberry) are species of the *Vaccinium* genus belonging to the *Ericaceae* family. The fruits of these plants are characterized by a high content of biologically active polyphenols, in particular anthocyanins. These chemical compounds are responsible for the therapeutic potential of the berries and their red-purple-blue coloration. Anthocyanins from blueberries have been shown in studies to have strong antioxidant properties as well as biological potential that can be used in the prevention of cancer and lifestyle diseases. There are also studies indicating the antibacterial activity of polyphenols found in berries. Bilberry berries are used to produce jams and juices commonly available in Europe. These products may constitute a valuable source of polyphenols. However, it should be noted that the method of blueberry breeding and processing affects the final content of active substances in the product.

**Research goal.** Systematizing the currently available knowledge regarding polyphenols found in the fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*.

**Methods.** In preparation of the literature review for this work, the PubMed search engine using the MEDLINE database was used. The article includes articles from the last 20 years.

**Results.** This study reviews the latest literature on the content and identification of anthocyanins, flavonols, flavanols and phenolic acids in black bilberry and bog bilberry. Works on the biological activity of polyphenols present in *V. uliginosum* and *V. myrtillus*, demonstrated in in vivo and in vitro tests, are also described. Polyphenols derived from berries of the *Vaccinium* genus may also be an active ingredient in dietary supplements designed to support the proper functioning of the eyes and blood vessels. Clinical studies confirm the benefits of using *V. uliginosum* and *V. myrtillus* supplementation while maintaining a proper diet.

**Conclusions.** Due to their therapeutic values and rich phytochemical composition, blueberry fruit extracts and products are a potential ingredient of functional food. Such preparations could be targeted at patients at risk of metabolic (diabetes) and cancer diseases.

**Keywords:** polyphenols, anthocyanins, bilberry, bioactive compounds, dietary supplement.

© Farm Pol, 2023, 79(7): 403–412

## Wstęp

*Vaccinium uliginosum* L. (borówka bagienna, lochynia, włochynia, pijawica) i *Vaccinium myrtillus* L. (borówka czarna, borówka czernica, czarna jagoda) to gatunki z rodzaju *Vaccinium* należące do rodziny *Ericaceae* (wrzosowate). Rośliny te to niskorosłe krzewy liściaste, których owoce są jadalnymi ciemnofioletowymi jagodami. Są szeroko rozpowszechnione w Europie, Ameryce Północnej i Azji, w klimacie umiarkowanym i arktycznym. Borówka bagienna, jak sama nazwa wskazuje rośnie na stanowiskach podmokłych, często na bagnach, torfowiskach. Bardzo często oba gatunki rosną obok siebie. Rośliny różnią się od siebie wyglądem zarówno całej rośliny, jak i liści, i owoców.

Borówka bagienna jest krzewinką wyższą niż czarna, o innym odcieniu zieleni liści i owocach kształtu bardziej owalnego niż borówka czarna oraz jasnym miąższu. Cechą odróżniającą borówkę bagienną od borówki czarnej jest brązowa barwa łodygi oraz zielononiebieski odcień liści. W przypadku borówki czarnej zarówno liście, jak i młode łodygi są jasnozielone. Owoce borówki zajmują istotne miejsce jako surowiec zielarski, w polskiej medycynie ludowej. Jagody oraz liście borówki czarnej były wykorzystywane w zwalczaniu różnorodnych dolegliwości już od XVI w. – w szczególności biegunki, stanów zapalnych jamy ustnej i gardła, problemów

krążeniowych oraz chorób oczu [1]. Obecnie jagody borówki czarnej stanowią w Europie powszechny składnik diety, uzupełniający ją o składniki bioaktywne pochodzenia roślinnego. Mogą być spożywane w formie świeżej, jak również w postaci mrożonej, suszonej, soków, dżemów oraz suplementów diety [2].

Owoc i liść borówki czarnej (*Myrtilli fructus et folium*) są surowcem zielarskim. Świeże owoce działają rozluźniająco w zaparciach, ale jednocześnie przeciwbiegunkowo. Owoce suszone stosowane są w zaburzeniach żołądkowo-jelitowych, biegunkach o podłożu bakteryjnym. Wyciągi z liści są stosowane w zakażeniach układu moczowego, przewodu pokarmowego oraz w stanach zapalnych skóry [1]. Ponadto, preparaty z borówki czarnej są stosowane pomocniczo w leczeniu chorób układu krążenia i w okulistyce [1]. Zastosowanie lecznicze borówki bagiennej jest mało znane. Wynikać to może z faktu, że po spożyciu owoców opisywano stany podobne do upojenia alkoholowego (stąd nazwa pijanica). Dzisiaj już wiadomo, że efekt odurzenia nie jest spowodowany spożyciem owoców borówki bagiennej, ale pyłku znajdującego się często na ich skórce, pochodzącego z bagna zwyczajnego (*Ledum palustre*), obok którego borówka często rośnie w warunkach naturalnych.

Ekstrakty z borówki czarnej wykazały w testach *in vitro* zdolność do hamowania procesu glikacji białek oraz zmiatania wolnych



Rycina 1. Liście, łodygi i owoce *V. uliginosum* oraz *V. myrtillus*. Fot. Monika Wujec.

Figure 1. Leaves, stems and fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*. Photograph by Monika Wujec.



**Rycina 2.**  
Owoce *V. uliginosum* i *V. myrtillus*.  
Fot. Monika Wujec.

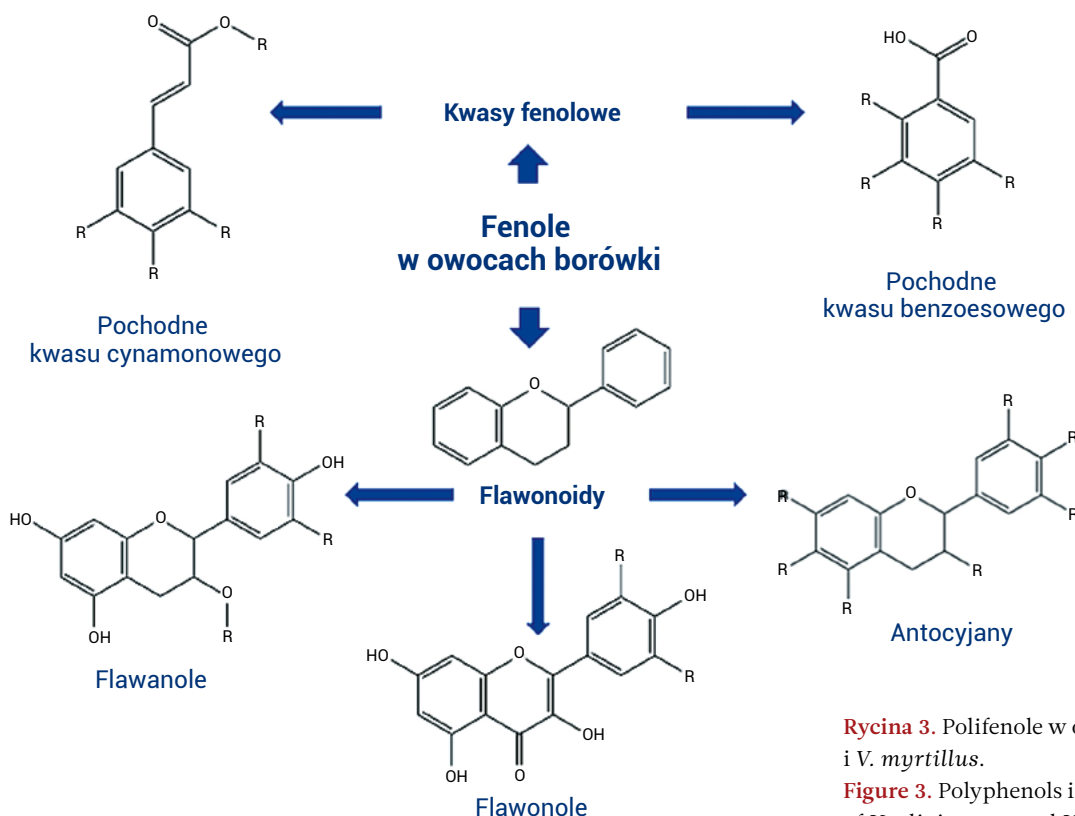
**Figure 2.**  
Fruits of *V. uliginosum* and  
*V. myrtillus*.  
Photograph by Monika Wujec.

rodników. Właściwości antyoksydacyjne ekstraktów z borówki są związane z zawartością w nich licznych substancji bioaktywnych z grupy polifenoli, a w szczególności antocyjanów i flawanoli [3–5]. Ze względu na zawartość tych związków czynnych suplementacja preparatów opartych na ekstraktach z borówek może mieć korzystny wpływ na profilaktykę oraz proces terapeutyczny wielu schorzeń. Opisane w literaturze naukowej korzystne efekty farmakologiczne związane z tym surowcem roślinnym dotyczą kwestii zdrowotnych, takich jak pozytywny wpływ na naczynia krwionośne, zapobieganie retinopatii cukrzycowej oraz potencjalne działanie przeciwnowotworowe [6–10]. Celem pracy poglądowej było usystematyzowanie obecnie dostępnej wiedzy dotyczącej polifenoli znajdujących się w owocach *V. uliginosum* i *V. myrtillus*. Niniejszy przegląd wyników badań dotyczących aktywności biologicznych tych związków może posłużyć badaczom

pracującym nad opracowaniem nowych preparatów zaliczanych do suplementów diety lub żywności funkcjonalnej.

### Metody pracy

W przygotowaniu przeglądu literatury do niniejszej pracy wykorzystana została wyszukiwarka PubMed, korzystająca z bazy danych MEDLINE. W artykule uwzględnione zostały artykuły z ostatnich 20 lat. Przegląd został wykonany w sierpniu 2023 r. Przeszukując bazy wykorzystano słowa kluczowe: *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium myrtillus* i polyphenols. Znalaziono 122 wyniki wyszukiwania artykułów dotyczących polifenoli w *Vaccinium uliginosum* oraz 45 dotyczących polifenoli w *Vaccinium myrtillus*. Odrzucono wszystkie wyszukane prace, które nie dotyczyły analizy składu fitochemicznego owoców borówki ze szczególnym uwzględnieniem frakcji polifenoli. Odrzucono również



**Rycina 3.** Polifenole w owocach *V. uliginosum* i *V. myrtillus*.

**Figure 3.** Polyphenols in the fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*.

prace przeglądowe. Ostatecznie zawężono liczbę opisywanych artykułów do pozycji najbardziej adekwatnie wpisujących się w temat aktywności biologicznej polifenoli zawartych w owocach borówki.

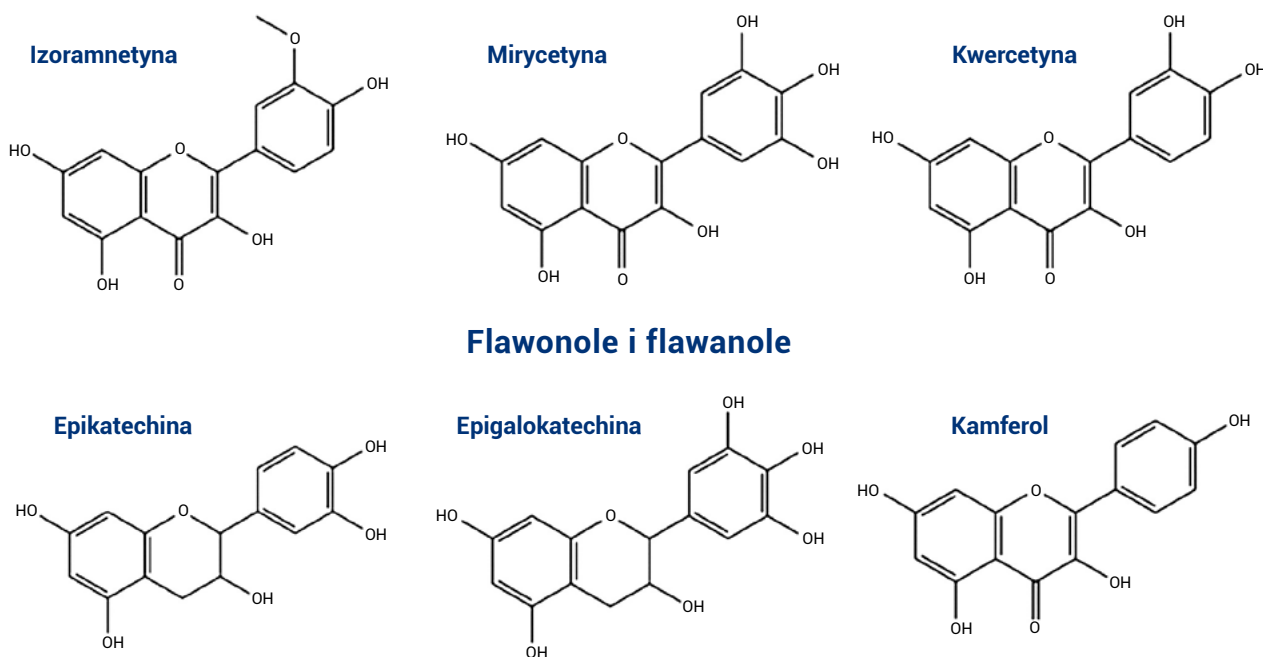
### Zawartość polifenoli w owocach *Vaccinium uliginosum* L. i *Vaccinium myrtillus* L.

Owoce *V. uliginosum* L. i *V. myrtillus* L. charakteryzują się podobną procentową zawartością antocyjanów. Borówka czarna w swoim składzie chemicznym zawiera dużą grupę różnych związków fenolowych, takich jak antocyjany, flawanole, flawonole, kwasy fenolowe oraz stylbeny [11, 12]. Dodatkowo stanowi źródło witamin, cukrów i pektyny [11, 12]. Kwercetyna, kemferol, kwas fenolowy oraz kwas gentyzynowy stanowią istotną frakcję polifenoli wykrytą w ekstraktach z owoców *V. myrtillus* [13]. Warto jednak zaznaczyć, że to antocyjany stanowią grupę związków o najwyższej aktywności biologicznej spośród składników fenolowych borówki czarnej. Substancje te z punktu widzenia chemicznego są glikozydami złożonymi z antocyjanidyn oraz grup cukrowych [14]. Świeży owoc borówki czarnej zawiera od 0,1 do 0,5% antocyjanów, natomiast zagęszczony ekstrakt z tej jagody zawiera 37% antocyjanów i około 25% antocyjanidyn [11]. W owocu *V. myrtillus* znajduje się aż 15 różnych antocyjanów, stanowiących kombinację pięciu

antocyjanidyn: delfinidyny, cyjanidyny, peonidyny, petunidyny oraz malwidyny, przyłączonych do trzech grup pochodnych cukrowych: 3-O-arabinozydu, 3-O-glukozydu i 3-O-galaktozydu [14]. W przypadku jagód borówki bagiennej wyznaczona w badaniach zawartość antocyjanów wynosi 90,1 mg na 100 g świeżego surowca roślinnego. W owocach *V. uliginosum* stwierdzono obecność 11 różnych antocyjanów, przy czym w składzie chemicznym dominują 3-glukozyd petunidyny oraz 3-glukozyd malwidyny [15]. Jagoda borówki bagiennej stanowi również źródło kwercetyny i 3-rutynozydu kwercetyny [15].

### Flawonole i flawanole

Flawonole i flawanole to organiczne związki chemiczne należące do grupy polifenoli. Powszechnie występują w tkankach roślinnych, pełniąc funkcję barwników. Ich obecność w roślinach chroni je przed czynnikami utleniającymi, insektami oraz chorobotwórczymi grzybami. Obecność tych polifenoli nadaje owocom i kwiatom intensywny kolor, jednocześnie ograniczając mutagenny wpływ promieniowania ultrafioletowego [16]. Związki te, pochodzące z pożywienia roślinnego, stanowią stały element prawidłowej diety człowieka. Flawonole i flawanole zawarte w ziołach charakteryzują się działaniem przeciwzapalnym, uszczelniającym naczynia krwionośne, przeciwutleniającym oraz rozkurczowym. Jagody borówek stanowią cenne źródło związków bioaktywnych



Rycina 4. Flawonole i flawanole w owocach *V. uliginosum* i *V. myrtillus*.  
 Figure 4. Flavonols and flavanols in the fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*.

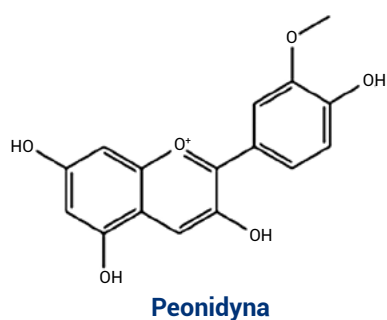


z grupy flawonoidów, w tym flawonoli i flawanoli, co znajduje potwierdzenie w badaniach ich składu fitochemicznego. W 2010 r. zespół pod kierownictwem Latti wykazał obecność aglikonów kemferolu oraz izoramnetyny w ekstraktach z *V. uliginosum*. Izoramnetynę wykryto również w *V. myrtillus*. Co ciekawe, w badaniu tym około 1/4 próbek ekstraktu z borówki bagiennej zawierało więcej flawonoli niż antocyjanów [17]. W badaniach przeprowadzonych przez zespół pod kierownictwem Ancillotti w 2016 r., w borówce czarnej oraz borówce bagiennej w różnych ilościach oznaczono kwercetynę, izoramnetynę, mirycetynę, kemferol, pentozydy i glukuronidy [18]. Natomiast Wei i wsp. w 2018 r. wykazali, że epikatechina i epigalokatechina są głównymi flawanolami w owocach borówki bagiennej [19].

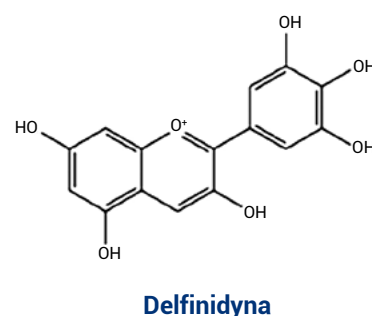
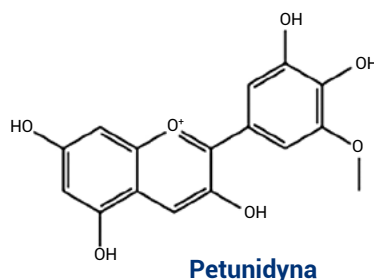
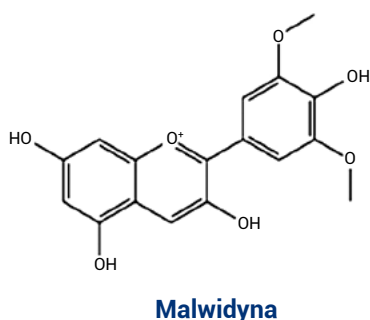
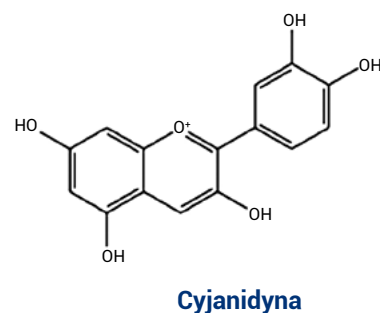
### Antocyjany

Antocyjany są związkami chemicznymi o wysokiej aktywności antyoksydacyjnej, które stanowią jedną z grup substancji pochodzenia roślinnego zaliczanych do flawonoidów. Polifenole te powszechnie występują w organizmach roślin naczyniowych [20]. Antocyjany w postaci glikozydów lub acyloglikozydów antocyjanidyny są obecne w kwiatach i owocach jako barwniki nadające im barwę czerwoną, purpurową, niebieską, a nawet czarną. Kolor antocyjanów jest zależny od pH, w środowisku kwaśnym przyjmują barwę czerwoną, natomiast w zasadowym

– niebieską [20]. Z tego względu stanowią istotny składnik żywności funkcjonalnej, służący prewencji chorób cywilizacyjnych. Wśród roślin jadalnych jednym z najważniejszych źródeł antocyjanów są owoce jagodowe o barwie fioletowej lub niebieskiej, takie jak winogrona, wiśnie, czarna porzeczka oraz borówki [15]. W przemyśle spożywczym antocyjany znalazły zastosowanie jako barwiące związki chemiczne w żywności. Co najważniejsze jednak, substancje z tej grupy charakteryzują się wieloma właściwościami prozdrowotnymi, takimi jak korzystny wpływ na ostrość widzenia, aktywność antyoksydacyjną, działanie przeciwnowotworowe oraz antywirusowe [21]. Cechy te sprawiają, że surowce roślinne bogate w antocyjany wchodzi w skład leków ziołowych i suplementów diety. Antocyjany stanowią najważniejszą pod względem aktywności biologicznej frakcję składników w owocach borówki. W świeżych owocach zawartość związków bioaktywnych z tej grupy wynosi około 0,5% [3,22–24]. Związki z grupy antocyjanów zawarte w borówce czarnej wykazały w testach znaczące działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne, przeciwnowotworowe, przeciwmiażdżycowe, przeciwdrobnoustrojowe oraz wspierające narząd wzroku [12, 25]. Wykazano również, że związki te mogą łagodzić przewlekłe i ostre zapalenie jelita grubego [26, 27]. Z badań przeprowadzonych przez zespół pod kierownictwem Jin w 2019 r. wynika, że borówka bagicenna w porównaniu z innymi bardziej powszechnymi gatunkami zawiera



### Antocyjany



**Rycina 5.** Antocyjany w owocach *V. uliginosum* i *V. myrtillus*.

**Figure 5.** Anthocyanins in the fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*.

w składzie swoich jagód bardziej złożone antocyjany [28]. Holkem i wsp. 2021 r. udowodnili, że aktywność antyproliferacyjna wobec linii komórkowych HT-29 oraz CRL-1790 ekstraktów z *V. myrtillus* jest zależna od wysokości stężenia w nich antocyjanów [29]. Dodatkowo wyniki badań przeprowadzonych przez zespół Cásedas w 2018 r. na ekstraktach z soku borówki czarnej wykazały, że zawarta w nim cyjanidyna zwiększa aktywność mitochondriów w komórkach, przy jednoczesnym zmniejszeniu wytwarzania wewnątrzkomórkowych reaktywnych form tlenu (ROS). Zaobserwowano również, że antocyjany obecne w soku z *V. myrtillus* wywołują wzrost aktywności enzymów przeciwrodnikowych – dysmutazy ponadtlenkowej (SOD) i katalazy (CAT) [30].

### Kwasy fenolowe

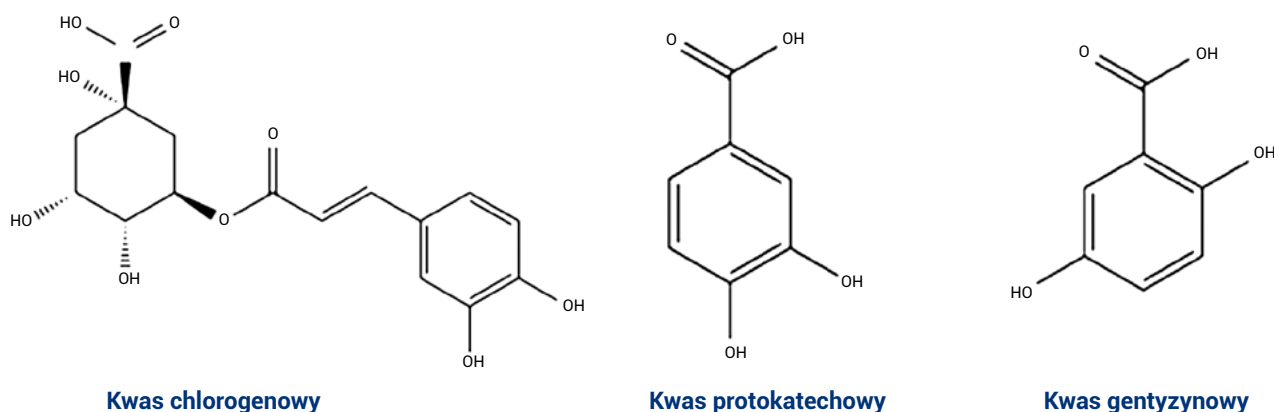
Potencjał antyoksydacyjny owoców borówki jest również zależny od kolejnej ważnej grupy związków należącej do polifenoli, jakimi są kwasy fenolowe. W badaniach wykazano, że aktywność antyoksydacyjna ekstraktów z owoców *V. myrtillus* zależy od zawartości w nich substancji zaliczanych do kwasów fenolowych, których nawet bardzo niskie stężenia odpowiadają za wewnątrzkomórkowe działanie przeciwutleniające [31]. Dodatkowo odkryto, że liście borówki zawierają wyższe stężenia tych związków niż owoce [32]. Całkowitą zawartość kwasów fenolowych w suchej masie ekstraktu z borówki czarnej, otrzymanego w wyniku przyspieszonej ekstrakcji roztworem 48% etanolu o pH=3 w temperaturze 50°C, oceniono z wykorzystaniem ultrawysokosprawnej chromatografii cieczowej na około 2 mg/g [33]. Zgodnie

z badaniami przeprowadzonymi przez Wei i wsp. w 2018 r. w składzie soku z borówki bagiennej znajduje się kwas protokatechowy i chlorogenowy [19]. Z pracy zespołu pod kierownictwem Ancillotti z 2016 r. wynika, że zawartość kwasu chlorogenowego w borówce błotnej jest dwudziestokrotnie wyższa niż w borówce czarnej [32].

### Właściwości antyoksydacyjne polifenoli zawartych w jagodach borówki

Badania dotyczące właściwości antyoksydacyjnych ekstraktów z owoców różnych gatunków borówek wskazują na ich istotny potencjał przeciwutleniający i przeciwzapalny. Bayazid i wsp. w 2021 r. opublikowali pracę badawczą dotyczącą wyników testów *in vitro* aktywności antyoksydacyjnej alkoholowych ekstraktów z borówki czarnej. Aktywność przeciwutleniającą we wspomnianej publikacji mierzono na podstawie całkowitej zawartości fenoli, flawonoidów i kwasu askorbinowego. Ekstrakt z borówki czarnej, w przeprowadzonych testach, hamował w sposób zależny od dawki reakcję utleniania kwasu linolowego oraz wykazywał zdolność zmiatania wolnych rodników. Dodatkowo zaobserwowano, że związki aktywne zawarte w *V. myrtillus* odznaczają się zdolnością przeciwdziałania aktywności białek związanych z reakcją zapalną, takich jak indukowalna synteza tlenu azotu (iNOS), cyklooksygenaza 2 (COX-2), czynnik martwicy nowotworu  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) oraz interleukina-6 (IL-6). Autorzy badania sugerują, że ekstrakt z borówki czarnej, ze względu na wysokie stężenie bioaktywnych antocyjanów, jest potencjalnym

## Kwasy fenolowe



Rycina 6. Kwasy fenolowe w owocach *V. uliginosum* i *V. myrtillus*.

Figure 6. Phenolic acids in the fruits of *V. uliginosum* and *V. myrtillus*.

naturalnym środkiem terapeutycznym o silnych właściwościach przeciwutleniających oraz przeciwzapalnych [34].

Zespół pod kierownictwem Kraujalyte w 2015 r. przeprowadził badania mające na celu porównanie potencjału antyoksydacyjnego soku z borówki amerykańskiej oraz borówki bagiennnej. *V. uliginosum* charakteryzowała się bardzo wysoką wartością całkowitej pojemności antyoksydacyjnej (TAC), wynoszącą 14,19 mg/100 mL. Borówka bagienna, mimo że zawierała umiarkowane stężenia oznaczanych ilościowo związków bioaktywnych, w przeprowadzonych testach wykazywała bardzo duże zdolności antyoksydacyjne. Stwierdzono, że istnieje umiarkowana ujemna korelacja pomiędzy masą jagód a siłą działania antyoksydacyjnego soku. Jagody o większej masie prawdopodobnie gromadzą więcej makroelementów, przy jednoczesnym niższym procencie zawartości polifenoli [35].

### **Właściwości przeciwbakteryjne polifenoli zawartych w ekstraktach z borówek**

Polifenole są związkami pochodzenia naturalnego charakteryzującymi się właściwościami bakteriostatycznymi i bakterioobójczymi. Istnieją badania wskazujące na potencjał przeciwbakteryjny związków z tej grupy zawartych w owocach borówki. Zespół pod kierownictwem Zhou w 2020 r. przeprowadził testy dotyczące oceny działania przeciwdrobnoustrojowego ekstraktu *V. uliginosum* wobec bakterii Gram-ujemnych (*Vibrio parahaemolyticus*, *Salmonella enteritidis*) i Gram-dodatnich (*Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*). Surowy ekstrakt z borówki bagiennnej, uzyskany na drodze ekstrakcji metanolem, został podzielony na trzy frakcje: F1 – cukry i kwasy, F2 – fenole oraz F3 – antocyjany i proantocyjanidyny. W przeprowadzonych testach wykazano, że najsilniejszym działaniem antybakteryjnym odznaczała się frakcja F3. Świadczy to o potencjale przeciwdrobnoustrojowym polifenoli z grupy antocyjanów znajdujących się w owocach borówki. Otrzymane ekstrakty wykazały najwyższą aktywność wobec bakterii Gram-ujemnych, a w szczególności wobec szczepu *Vibrio parahaemolyticus*. Uzyskane w opisywanych testach wyniki wskazują, na to, że wszystkie badane frakcje borówki hamują rozwój bakterii, które mogą być obecne w żywności. Dane te w przyszłości mogą zostać wykorzystane do stworzenia nowych naturalnych preparatów chroniących produkty spożywcze przed mikroorganizmami chorobotwórczymi [36].

### **Właściwości przeciwnowotworowe polifenoli zawartych w borówkach**

Antocyjany są polifenolami, którym przypisywane są właściwości przeciwnowotworowe. Jednocześnie istnieją prace badawcze wskazujące na to, że ekstrakty z borówek bogate w antocyjany mogą stanowić potencjalny element terapii chorób onkologicznych. Obiecujące wyniki dotyczą między innymi leczenia raka jelita grubego – nowotworu złośliwego, który rozwija się w końcowym odcinku przewodu pokarmowego. Nowotwór jest odpowiedzialny za wysoką liczbę śmierci pacjentów. W 2017 r. Lippert i wsp. przeprowadzili prace badawcze, w trakcie których ocenili wpływ bogatych w antocyjany ekstraktów z borówek na progresję i przyrost guza jelita grubego w badaniach *in vivo* z wykorzystaniem mysiego modelu Balb/c. W testach okazało się, że myszy karmione antocyjanami z borówki wykazywały znaczną redukcję stanu zapalnego w obrębie okrężnicy w porównaniu z grupą kontrolną. Co ważne, myszy w grupie kontrolnej wykazywały wyższą średnią liczbę nowotworów w porównaniu z osobnikami otrzymującymi 10% ekstrakt z borówki bogaty w antocyjany. Podsumowując, autorzy badania zaobserwowali, że antocyjany zapobiegały inicjacji i rozwojowi raka jelita grubego u myszy modelowych [37]. Sugeruje to, że borówki bogate w polifenole posiadają potencjał przeciwnowotworowy, który może zostać wykorzystany do opracowywania żywności funkcjonalnej przeznaczonej dla pacjentów z grupy ryzyka raka jelita.

### **Zastosowanie polifenoli zawartych w borówkach w okulistyce**

Ekstrakty z *V. uliginosum* zawierają bogatą grupę związków o właściwościach przeciwutleniających, których suplementacja jest korzystna w profilaktyce oraz łagodzeniu problemów zdrowotnych związanych z narządem wzroku, takich jak zespół suchego oka, zwyrodnienie plamki żółtej związane z wiekiem (AMD) i zaćma [38]. Działanie ochronne polifenoli zawartych w owocach borówki błotnej ma związek z ich korzystnym wpływem na stan naczyń włosowatych oraz mikrokrążenie. Istnieją badania przeprowadzone w warunkach *in vivo* oraz próby kliniczne potwierdzające zasadność wykorzystania polifenoli obecnych w borówce błotnej w profilaktyce chorób oczu.

Park i wsp. w 2016 r. przeprowadzili randomizowane, zaślepione placebo, badanie kliniczne dotyczące skuteczności polifenoli pochodzących

z borówki błotnej (*V. uliginosum*) w profilaktyce zespołu suchego oka, wywołanego kontaktem z urządzeniami emitującymi światło niebieskie. W testach wzięło udział 59 pacjentów (29 w grupie badawczej oraz 30 w grupie kontrolnej). Uczestnicy z grupy badawczej przez 4 tygodnie otrzymywali tabletki zawierające 9,1 mg polifenoli pochodzących z owoców *V. uliginosum* (1000 mg suchego ekstraktu). W testach klinicznych ostatecznie wykazano, że przyjmowanie ekstraktu z *V. uliginosum* znacząco złagodziło dyskomfort oczu wywołany pracą przed ekranem komputera lub tabletu u pacjentów z grupy badawczej [38]. W 2016 r. zespół pod kierownictwem Lee przeprowadził również badania dotyczące ochronnego wpływu polifenoli zawartych w *V. uliginosum* w przypadku uszkodzeń oka wywołanych niebieskim światłem [39]. Testy te zostały przeprowadzone w warunkach *in vitro* z wykorzystaniem komórek nabłonka barwnikowego siatkówki ARPE19 w obecności fototoksycznego składnika A2E oraz *in vivo* na modelu myszy. Uzyskane wyniki wskazują na to, że frakcja polifenoli pozyskana z borówki błotnej może chronić przed rozwojem zwyrodnienia plamki żółtej związanego z wiekiem (AMD) [39].

W badaniu przeprowadzonym przez Choi i wsp. w 2019 r. oceniano wpływ zażywania związków antyoksydacyjnych zawartych w *V. uliginosum* na ryzyko rozwoju zaćmy [40]. Testy przeprowadzono w warunkach *in vivo*, wykorzystując model szczurów Sprague–Dawley (SD). Analiza morfologiczna soczewki wykazała, że zastosowanie ekstraktu z borówki błotnej hamuje proteolizę oraz stres oksydacyjny w soczewce. Wykazano również, że polifenole zawarte w *V. uliginosum* hamują rozwój zaćmy w sposób zależny od dawki oraz zapewniają komórkową ochronę antyoksydacyjną [40]. Zespół pod kierownictwem Yin w 2022 r. wykazał zdolność antocyjanów zawartych w ekstraktach z *V. uliginosum* do protekcji komórek siatkówki przed uszkodzeniami wywołanymi promieniowaniem [41]. W testach tych oceniano zdolność antocyjanów wyizolowanych z owoców borówki błotnej do ochrony komórek siatkówki przed uszkodzeniami wywołanymi przez promieniowanie mikrofalowe. Zaobserwowano, że nasilenie procesu apoptozy w komórkach siatkówki jest zdecydowanie niższe w przypadku grupy badawczej niż grupy kontrolnej. Na podstawie opisywanych testów, zespół badaczy stwierdził, że antocyjany obecne w *V. uliginosum* działają stabilizująco na błonę komórkową oraz łagodzą uszkodzenia komórek fotoreceptorów siatkówki wywołane stresem oksydacyjnym [41].

## Czynniki wpływające na zawartość polifenoli w jagodach borówek

Polifenole są obszerną grupą związków występujących naturalnie w różnych pokarmach roślinnych, w tym w owocach jagodowych roślin z rodzaju *Vaccinium*. Zawartość i biodostępność polifenoli w owocach borówek z tego samego gatunku może się od siebie różnić. Jest to związane z faktem, że na te wskaźniki mogą wpływać różne czynniki, takie jak klimat, warunki uprawy, okres wegetacji, sposób pozyskiwania surowca, stosowane metody rolnicze, warunki suszenia, sposób przechowywania oraz przetwarzania. Uprawianie borówek z wykorzystaniem praktyk rolnictwa ekologicznego, może sprzyjać wyższej zawartości polifenoli w jagodach. Ma to związek z rezygnacją lub użyciem mniejszych ilości syntetycznych pestycydów oraz nawozów. W sytuacji gdy rośliny same muszą się bronić przed szkodnikami i czynnikami chorobotwórczymi, wytwarzają większe stężenia ochronnych fitochemikaliów, w tym polifenoli. Stężenie polifenoli w owocach jest również zależne od stopnia dojrzałości jagód [42]. Stosowanie delikatnych metod zbioru, zmniejszających ryzyko uszkodzenia jagód, wpływa korzystnie na zachowanie wysokiego stężenia polifenoli. Na zawartość polifenoli w owocu ma również wpływ sposób ich przechowywania. Utrzymywanie odpowiedniej temperatury, ciśnienia i wilgotności podczas przechowywania pozwala na zahamowanie procesu degradacji polifenoli [43]. Przechowywanie w chłodni jest więc metodą pozwalającą na utrzymanie wysokiego poziomu polifenoli w świeżych jagodach. Liofilizacja jest również sposobem na zachowanie polifenoli w surowcu roślinnym. Procedura ta opiera się na usuwaniu wilgoci z jagód bez znaczącej ekspozycji na ciepło, które mogłoby doprowadzić do rozpadu związków bioaktywnych [44]. Dzięki stosowaniu tradycyjnych metod przetwarzania, takich jak produkcja przecierów i soków, możliwe jest uzyskanie produktów o zwiększonej koncentracji polifenoli. Jednocześnie należy wspomnieć, że pasteryzacja przetworów może doprowadzić do nieznacznej zmniejszenia stężenia związków z tej grupy.

## Wnioski

Borówka czarna oraz borówka bagienna są roślinami, których owoce stanowią bogate źródło związków z grupy polifenoli o wysokim potencjale biologicznym. Jagody te zawierają duże stężenia antocyjanów, które charakteryzują się obiecującym, pod względem terapeutycznym,



działaniem antyoksydacyjnym. Owoce *V. uliginosum* i *V. myrtillus* zawierają wiele związków bioaktywnych o korzystnym wpływie na zdrowie. Istnieją badania wskazujące na to, że polifenole zawarte w ekstraktach z tych jagód mogą odgrywać rolę w profilaktyce nowotworów oraz chorób cywilizacyjnych. Ze względu na działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne oraz przeciwnowotworowe, owoce borówki bagiennej i borówki czarnej mogą być stosowane jako uzupełnienie diety o działaniu przeciwnadciśnieniowym, jak również w profilaktyce chorób nowotworowych oraz chorób narządu wzroku. Wpisują się tym samym w definicję żywności funkcjonalnej. Istotną kwestią związaną z wytwarzaniem produktów spożywczych i farmaceutycznych z jagód jest fakt, że zawartość substancji bioaktywnych w owocu zależy od warunków uprawy i metod przechowywania zbiorów.

## Piśmiennictwo

1. Drozd JB, Anuszevska EB. Czarna Jagoda-Perspektywy Nowych Zastosowań w Profilaktyce i Wspomaganiu Leczenia Chorób Cywilizacyjnych. *Medical Review*. 2013; 2: 226-235.
2. Benzie IF, Wachtel-Galor S. Herbal Medicine: Biomolecular and Clinical Aspects. 2011.
3. Han E-K, Kwon H-S, Shin S-G, et al. Biological Effect of Vaccinium Uliginosum L. on STZ-Induced Diabetes and Lipid Metabolism in Rats. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 2012; 41: 1727-1733.
4. Chen L, Zhang X, Wang Q, et al. Effect of Vaccinium Myrtillus Extract Supplement on Advanced Glycation End-Products: A Pilot Study (P06-098-19). *Curr Dev Nutr*. 2019; 3. doi:10.1093/CDN/NZZ031.P06-098-19.
5. Fraisse D, Bred A, Felgines C, Senejoux F. Screening and Characterization of Antioxidant Anthocyanins from Vaccinium Myrtillus Fruit Using DPPH and Methylglyoxal Pre-Column HPLC Assays. *Antioxidants* 2020; 9: 512. doi:10.3390/ANTIOX9060512.
6. Maulik M, Mitra S, Sweeney M, et al. Complex Interaction of Dietary Fat and Alaskan Bog Blueberry Supplementation Influences Manganese Mediated Neurotoxicity and Behavioral Impairments. *J Funct Foods*. 2019; 53: 306-317. doi:10.1016/j.jff.2018.12.028.
7. Lesjak M, Beara I, Simin N, et al. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of Quercetin and Its Derivatives. *J Funct Foods*. 2018; 40: 68-75. doi:10.1016/j.jff.2017.10.047.
8. Chan SW, Tomlinson B. Effects of Bilberry Supplementation on Metabolic and Cardiovascular Disease Risk. *Molecules* 2020; 25. doi:10.3390/MOLECULES25071653.
9. Bujor OC, Tanase C, Popa ME. Phenolic Antioxidants in Aerial Parts of Wild Vaccinium Species: Towards Pharmaceutical and Biological Properties. *Antioxidants* 2019; 8: 649. doi:10.3390/ANTIOX8120649.
10. Pires TCSP, 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: 1917-1928. doi:10.2174/1381612826666200317132507.
11. Valentová K, Ulrichová J, Cvak L, Šimánek V. Cytoprotective Effect of a Bilberry Extract against Oxidative Damage of Rat Hepatocytes. *Food Chem*. 2007; 101: 912-917. doi:10.1016/j.foodchem.2006.02.038.
12. Može Š, Polak T, Gasperlin L, et al. Phenolics in Slovenian Bilberries (*Vaccinium Myrtillus* L.) and Blueberries (*Vaccinium Corymbosum* L.). *J Agric Food Chem*. 2011; 59: 6998-7004. doi:10.1021/jf200765n.
13. Sezer ED, Oktay LM, Karadağ 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: 1118-1126. doi:10.1089/JMF.2019.0098.
14. Canter PH, Ernst E. Anthocyanosides of Vaccinium Myrtillus (Bilberry) for Night Vision—A Systematic Review of Placebo-Controlled Trials. *Surv Ophthalmol*. 2004; 49: 38-50. doi:10.1016/j.survophthal.2003.10.006.
15. Li R, Wang P, Guo Q, Wang Z. Anthocyanin Composition and Content of the Vaccinium Uliginosum Berry. *Food Chem*. 2011; 125: 116-120. doi:10.1016/j.foodchem.2010.08.046.
16. Williams CA, Grayer RJ. Anthocyanins and Other Flavonoids. *Nat Prod Rep*. 2004; 21: 539. doi:10.1039/b311404j.
17. Lähti AK, Jaakola L, Riihinen KR, Kainulainen PS. Anthocyanin and Flavonol Variation in Bog Bilberries (*Vaccinium Uliginosum* L.) in Finland. *J Agric Food Chem*. 2010; 58: 427-433. doi:10.1021/JF903033M.
18. Ancillotti C, Ciofi L, Pucci D, et al. Polyphenolic Profiles and Antioxidant and Antiradical Activity of Italian Berries from Vaccinium Myrtillus L. and Vaccinium Uliginosum L. Subsp. Gaultherioides (Bigelow) S.B. Young. *Food Chem*. 2016; 204: 176-184. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2016.02.106.
19. Wei M, Wang S, Gu P, et al. Comparison of Physicochemical Indices, Amino Acids, Phenolic Compounds and Volatile Compounds in Bog Bilberry Juice Fermented by Lactobacillus Plantarum under Different PH Conditions. *J Food Sci Technol*. 2018; 55: 2240. doi:10.1007/S13197-018-3141-Y.
20. Kong J-M, Chia L-S, Goh N-K, et al. Analysis and Biological Activities of Anthocyanins. *Phytochemistry* 2003; 64: 923-933. doi:10.1016/S0031-9422(03)00438-2.
21. Szaniawska M, Taraba A, Szymczyk K. Budowa, Właściwości i Zastosowanie Antocyjanów. *Engineering Sciences And Technologies* 2015. doi:10.15611/nit.2015.2.06.
22. Fraisse D, Bred A, Felgines C, Senejoux F. Stability and Antioxidant Potential of Bilberry Anthocyanins in Simulated Gastrointestinal Tract Model. *Foods* 2020; 9. doi:10.3390/FOODS9111695.
23. Popović D, Đukić D, Katić V, et al. Antioxidant and Proapoptotic Effects of Anthocyanins from Bilberry Extract in Rats Exposed to Hepatotoxic Effects of Carbon Tetrachloride. *Life Sci*. 2016; 157: 168-177. doi:10.1016/J.LFS.2016.06.007.
24. Karppinen K, Zoratti L, Nguyenquynh, et al. On the Developmental and Environmental Regulation of Secondary Metabolism in Vaccinium Spp. Berries. *Front Plant Sci*. 2016; 7. doi:10.3389/FPLS.2016.00655.
25. Kähkönen MP, Heinonen M. Antioxidant Activity of Anthocyanins and Their Aglycons. *J Agric Food Chem*. 2003; 51: 628-633. doi:10.1021/jf025551i.
26. Sharma A, Lee HJ. Anti-Inflammatory Activity of Bilberry (*Vaccinium Myrtillus* L.). *Curr Issues Mol Biol*. 2022; 44: 4570-4583. doi:10.3390/CIMB44100313.
27. Piberger H, Oehme A, Hofmann C, et al. Bilberries and Their Anthocyanins Ameliorate Experimental Colitis. *Mol Nutr Food Res*. 2011; 55: 1724-1729. doi:10.1002/MNFR.201100380.
28. Jin Y, Zhang Y, Liu D, et al. Efficient Homogenization-Ultrasound-Assisted Extraction of Anthocyanins and Flavonols from Bog Bilberry (*Vaccinium Uliginosum* L.) Marc with Carnosic Acid as an Antioxidant Additive. *Molecules* 2019; 24. doi:10.3390/MOLECULES24142537.
29. Holkem AT, Robichaud V, Favaro-Trindade CS, Lacroix M. Chemopreventive Properties of Extracts Obtained from Blueberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) and Jaboticaba (*Myrciaria Cauliflora* Berg.) in Combination with Probiotics. *Nutr Cancer*. 2021; 73: 671-685. doi:10.1080/01635581.2020.1761986.
30. Cásedas G, González-Burgos E, Smith C, et al. Regulation of Redox Status in Neuronal SH-SY5Y Cells by Blueberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) Juice, Cranberry (*Vaccinium Macrocarpon* A.) Juice and Cyanidin. *Food Chem Toxicol*. 2018; 118: 572-580. doi:10.1016/J.FCT.2018.05.066.
31. Bornsek SM, Ziberna L, Polak T, et al. Bilberry and Blueberry Anthocyanins Act as Powerful Intracellular Antioxidants in Mammalian Cells. *Food Chem*. 2012; 134: 1878-1884. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2012.03.092.
32. Vaneková Z, Rollinger JM. Bilberries: Curative and Miraculous - A Review on Bioactive Constituents and Clinical Research. *Front Pharmacol*. 2022; 13. doi:10.3389/FPHAR.2022.909914.
33. Wang C, Zhang M, Wu L, et al. Qualitative and Quantitative Analysis of Phenolic Compounds in Blueberries and Protective Effects on Hydrogen Peroxide-Induced Cell Injury. *J Sep Sci*. 2021; 44: 2837-2855. doi:10.1002/JSSC.202001264.

34. Bayazid AB, Chun EM, Al Mijan M, et al. Anthocyanins Profiling of Bilberry (*Vaccinium Myrtillus* L.) Extract That Elucidates Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects. *Food Agric Immunol*. 2021; 32: 713–726. doi:10.1080/09540105.2021.1986471.
35. Kraujalyte V, Venskutonis PR, Pukalskas A, et al. Antioxidant Properties, Phenolic Composition and Potentiometric Sensor Array Evaluation of Commercial and New Blueberry (*Vaccinium Corymbosum*) and Bog Blueberry (*Vaccinium Uliginosum*) Genotypes. *Food Chem*. 2015; 188: 583–590. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2015.05.031.
36. Tong-Tong Zhou, Cai-Hong Wei, Wei-Qing Lan, et al. The Effect of Chinese Wild Blueberry Fractions on the Growth and Membrane Integrity of Various Foodborne Pathogens. *J Food Sci*. 2020; 85: 1513–1522. doi:10.1111/1750-3841.15077.
37. Lippert E, Ruemmele P, Obermeier F, et al. Anthocyanins Prevent Colorectal Cancer Development in a Mouse Model. *Digestion* 2017; 95: 275–280. doi:10.1159/000475524.
38. Park CY, Gu N, Lim C-Y, et al. The Effect of *Vaccinium Uliginosum* Extract on Tablet Computer-Induced Asthenopia: Randomized Placebo-Controlled Study. *BMC Complement Altern Med* 2016; 16: 296. doi:10.1186/s12906-016-1283-x.
39. Lee B-L, Kang J-H, Kim H-M, et al. Polyphenol-Enriched *Vaccinium Uliginosum* L. Fractions Reduce Retinal Damage Induced by Blue Light in A2E-Laden ARPE19 Cell Cultures and Mice. *Nutrition Research* 2016; 36, 1402–1414. doi:10.1016/j.nutres.2016.11.008.
40. Choi J-I, Kim J, Choung S-Y. Polyphenol-Enriched Fraction of *Vaccinium Uliginosum* L. Protects Selenite-Induced Cataract Formation in the Lens of Sprague-Dawley Rat Pups. *Mol Vis* 2019; 25: 118–128.
41. Yin L, Fan S, Zhang M. Protective Effects of Anthocyanins Extracted from *Vaccinium Uliginosum* on 661W Cells Against Microwave-Induced Retinal Damage. *Chin J Integr Med* 2022; 28: 62–626. doi:10.1007/s11655-021-3527-y.
42. Kalt W, Forney CF, Martin A, Prior RL. Antioxidant Capacity, Vitamin C, Phenolics, and Anthocyanins after Fresh Storage of Small Fruits. *J Agric Food Chem*. 1999; 47: 4638–4644. doi:10.1021/JF990266T.
43. Zhang W, Shen Y, Li Z, et al. Effects of High Hydrostatic Pressure and Thermal Processing on Anthocyanin Content, Polyphenol Oxidase and  $\beta$ -Glucosidase Activities, Color, and Antioxidant Activities of Blueberry (*Vaccinium* Spp.) Puree. *Food Chem*. 2021; 342. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2020.128564.
44. Muñoz-Fariña O, López-Casanova V, García-Figueroa O, et al. Bioaccessibility of Phenolic Compounds in Fresh and Dehydrated Blueberries (*Vaccinium Corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances* 2023; 2: 100171. doi:10.1016/J.FOCHA.2022.100171.