

*Agnieszka Szopa, Paweł Kubica, Halina Ekiert

Ekologia, skład chemiczny, działanie prozdrowotne oraz badania biotechnologiczne aronii czarnoowocowej (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), aronii czerwonej (*Aronia arbutifolia* (L.) Pers.) i aronii śliwolistnej (*Aronia × prunifolia* (Marsh.) Rehd.)

Ecology, chemical composition, health-promoting effects and biotechnological studies on black chokeberry (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott), red chokeberry (*Aronia arbutifolia* (L.) Pers.) and purple chokeberry (*Aronia × prunifolia* (Marsh.) Rehd.)

Katedra i Zakład Botaniki Farmaceutycznej, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Jagielloński, Collegium Medicum, Kraków
Kierownik Katedry i Zakładu: prof. dr hab. n. farm. Halina Ekiert

SUMMARY

The paper presents the ecological and botanical characteristic of *Aronia melanocarpa* (black chokeberry). The current state of research on the chemical composition and biological activity of fruits and fruit extracts of this plant is presented. These plant raw materials are a rich source of polyphenol compounds (mainly anthocyanins, proanthocyanidins, flavonoids, phenolic acids), carotenoids, vitamins and bioelements. These compounds are responsible for the antioxidant, antitumor, improving circulation, radiation protection and anti-inflammatory effects of chokeberry.

In the work the special attention is paid to the importance of two other less known plants of the *Aronia* genus: *Aronia arbutifolia* (red chokeberry) and hybrid of *A. melanocarpa* and *A. arbutifolia* – *Aronia × prunifolia* (purple chokeberry). The ecological and botanical characteristic of these chokeberries is described. Moreover, the results of scientific studies evidenced that fruits and/or leaves of these plants could be a plausible medicinal and food-staff raw material alternative to black chokeberry.

Furthermore, the state of biotechnology research on *Aronia* species is presented. In the review the results of the latest phytochemical and biotechnological studies, conducted by the team of the Department of Pharmaceutical Botany UJ CM in cooperation with other scientific centers in Poland, are included.

Keywords: black chokeberry, red chokeberry, purple chokeberry, ecology, phytochemical studies, biological activity, biotechnological studies

STRESZCZENIE

W pracy przedstawiono charakterystykę ekologiczno-botaniczną *Aronia melanocarpa* (aronii czarnoowocowej). Zaprezentowano aktualny stan badań naukowych dotyczących składu chemicznego i aktywności biologicznej owoców tego gatunku oraz otrzymywanych z nich ekstraktów. Surowce te są bogatym źródłem związków o charakterze polifenoli (głównie antocyjany, proantocyjanidyny, flawonoidy, kwasy fenolowe), karotenoidów, witamin oraz biopierwiastków. Związki te są odpowiedzialne między innymi za działanie przeciwutleniające, przeciwnowotworowe, usprawniające krążenie, promieniochronne i przeciwzapalne aronii.

W pracy zwrócono uwagę na znaczenie dwóch innych mniej znanych roślin z rodzaju *Aronia*: *Aronia arbutifolia* (aronia czerwona; aronia czerwonoowocowa) i mieszańca gatunków *A. melanocarpa* i *A. arbutifolia* – *Aronia × prunifolia* (aronia śliwolistna). Przedstawiono ich charakterystykę ekologiczno-botaniczną oraz zaprezentowano wyniki badań naukowych, z których wynika, że owoce i liście tych roślin mogą stanowić alternatywne dla aronii czarnoowocowej surowce lecznicze i spożywcze.

Ponadto przedstawiono stan badań biotechnologicznych dotyczących gatunków rodzaju *Aronia*. W przeglądzie uwzględniono najnowsze badania fitochemiczne i biotechnologiczne prowadzone przez zespół Zakładu Botaniki Farmaceutycznej UJ CM we współpracy z innymi ośrodkami naukowymi w Polsce.

Słowa kluczowe: aronia czarnoowocowa, aronia czerwona, aronia śliwolistna, ekologia, badania fitochemiczne, aktywność biologiczna, badania biotechnologiczne

Wstęp

Aronia melanocarpa (Michx.) Elliott – aronia czarnoowocowa – pochodzi z Ameryki Północnej. Znana jest w Europie i Azji głównie jako roślina użytkowa. Natomiast *Aronia arbutifolia* (L.) Pers. oraz *Aronia × prunifolia* (Marsh.) Rehd. są roślinami mniej znanymi w Europie.

Surowcem pozyskiwanym z aronii czarnoowocowej są owoce. Ich cenne, prozdrowotne właściwości sprawiły, że są popularnym środkiem spożywczym, dietetycznym i farmaceutycznym. Liczne badania naukowe potwierdziły wysoką aktywność przeciwutleniającą, a także działanie przeciwzapalne, hepatochronne, gastrochronne, hipolipemiczne oraz przeciwmutagenne i przeciwnowotworowe produktów uzyskiwanych z owoców aronii. Ponadto wykazano ich działanie regulujące funkcjonowanie układu krążenia, narządu wzroku i chroniące przed szkodliwym promieniowaniem. Za wymienione działanie biologiczne odpowiadają głównie występujące w owocach aronii związki polifenolowe, m.in. antocyjany, flawonoidy, kwasy fenolowe oraz garbniki (1-5).

Owoce aronii czarnoowocowej wykorzystywane są obecnie na szeroką skalę w przemyśle spożywczym, farmaceutycznym, jak również kosmetycznym. W sztuce kulinarnej oraz w przemyśle spożywczym ze świeżych owoców wytwarzane są głównie dżemy, konfitury, powidła, marmolady, galaretki, soki oraz nalewki. Sok z aronii używany jest do barwienia innych wyrobów jako intensywny, naturalny barwnik. Cennym surowcem są suszone owoce, które obok świeżych owoców są powszechnie używane do wytwarzania licznych produktów zielarskich, suplementów diety oraz kosmetyków. Poza tym aronia czarnoowocowa jest również doskonale prezentującą się rośliną ozdobną, sadzoną w ogrodach i parkach (6-8).

A. arbutifolia (L.) Pers. – aronia czerwona (aronia czerwonoowocowa) oraz *A. × prunifolia* (Marsh.) Rehd. – aronia śliwolistna, to mniej znane, aczkolwiek równie interesujące rośliny użytkowe. *A. × prunifolia* zasługuje na szczególną uwagę. Jako poliploidalna hybryda *A. arbutifolia* i *A. melanocarpa* wykazuje cechy pośrednie pomiędzy tymi roślinami. Jednak ze względu na prawie czarne, duże kuliste owoce, często mylona jest z *A. melanocarpa*. Aronia śliwolistna traktowana jest obecnie w Europie na równi z aronią czarnoowocową, ze względu na walory smakowe, estetyczne, jak i plenność owoców. Aronia czerwona nie cieszy się powodzeniem jako roślina użytkowa. Jej owoce są małe, a ze względu na cierpki smak i twardość traktowane są jako ozdobne (1).

W niniejszym artykule przedstawiono charakterystykę ekologiczną, botaniczną, fitochemiczną i leczniczą

aronii czarnoowocowej. Na tym tle zaprezentowano również walory aronii czerwonej i śliwolistnej, oparte w znacznym stopniu na wynikach naszych badań.

Charakterystyka ekologiczna

Pod względem taksonomicznym rodzaj *Aronia* należy do podrodziny Jabłoniowych (*Maloideae*) i rodziny Różowatych (*Rosaceae*). Naturalne stanowiska występowania *A. melanocarpa* znajdują się na terenie Ameryki Północnej – na całym jej wschodnim obszarze od Wielkich Jezior aż po Florydę (6). *A. arbutifolia* i *A. × prunifolia* są również gatunkami pochodzącymi z Oceanu Atlantyckiego. *A. arbutifolia* występuje na południowo-wschodnim wybrzeżu Ameryki Północnej, szczególnie na terenie Karoliny Północnej i Południowej, Wirginii, Maryland, New Jersey, aż do Appalachów (1). *A. × prunifolia* występuje również naturalnie we wschodniej i centralnej Ameryce Północnej na terenach od Nowej Funlandii po Ontario oraz od Indiany po Wirginię (2).

Gatunki rodzaju *Aronia* są bardzo odporne na niskie temperatury, z powodzeniem sadzone są na terenach, gdzie temperatura spada poniżej -30°C . Rośliny te mają niewielkie wymagania glebowe, ich płytki system korzeniowy sprawia, że mogą być uprawiane na terenach nienadających się do uprawy innych roślin sadowniczych (3, 8). Doskonale znoszą zarówno suszę, jak i nadmierną wilgotność.

Do Europy pierwsze krzewy aronii czarnoowocowej sprowadzono w XVIII wieku. Wówczas zaczęto uprawiać aronię w Skandynawii oraz w Rosji (uprawiana była na skalę przemysłową na Altaju, w okolicach Moskwy i Petersburga). Obecnie aronia czarnoowocowa to popularny krzew, doskonały do uprawy amatorskiej w przydomowych ogrodach oraz przemysłowej na plantacjach (również ekologicznych). Specjalnie wyselekcjonowane odmiany hodowlane *A. melanocarpa* – jak na przykład odmiana czeska *A. melanocarpa* Nero oraz polska *A. melanocarpa* Galicjanka – charakteryzują się dużą plennością i odpornością na szkodliwe czynniki środowiskowe. Ponadto popularna jest również *A. melanocarpa* szczepiona na podkładce z jarząbu pospolitego (*Sorbus aucuparia*) – Aronia mitschurini Ampait (aronia Miczurina). Ta rosyjska odmiana charakteryzuje się silną mrozoodpornością oraz bardzo dużymi i słodkimi owocami.

Coraz większą popularnością cieszy się również *A. × prunifolia*. W Europie dostępne są jej odmiany hodowlane: szwedzka – *A. × prunifolia* Hugin oraz finlandzka – *A. × prunifolia* Viking. Odmiany aronii śliwolistnej wyróżniają się wysoką plennością oraz tym, że są bardzo odporne na mróz, szkodniki i choroby.

A. arbutifolia nie cieszy się powodzeniem jako roślina użytkowa, sadzona jest tylko jako krzew ozdobny. Jej małe, jasnoczerwone owoce traktowane są jako niejadalne. W szkółkach i w uprawach gatunek ten jest rzadko notowany, ale znany jest ze środowiska naturalnego, kolekcji uprawnych i ogrodów botanicznych. Polecany jest do naturalnych zakrzewień w pasach drogowych, również w parkach i ogrodach.

Charakterystyka botaniczna

Przedstawiciele rodzaju *Aronia* to wieloletnie krzewy dorastające do wysokości do 3 m i średnicy korony do 2,5 m. Mają płytke, jednak rozbudowane systemy korzeniowe, skoncentrowane głównie w obrębie korony. Korzenie są cienkie i rozrastają się horyzontalnie, a korzeń palowy sięga najwyżej 1,5 m w głąb ziemi. Pokrój krzewów jest zwarty, a w okresie owocowania staje się bardziej rozłożysty. Krzewy wykazują dużą zdolność do odnowy i zagęszczania (2, 3, 8). *A. × prunifolia* i *A. arbutifolia*, w przeciwieństwie do *A. melanocarpa*, wytwarzają kłącza. Okazy *A. × prunifolia* są też słabiej rozgałęzione niż *A. melanocarpa* (2).

Pąki kwiatowe i liściowe aronii czarnoowocowej i śliwolistnej ściśle przylegają do pędów, mają długość ok. 1 cm i szerokość 3-4 mm. Pąki różnią się w nieznanym stopniu – liściowe są mniejsze i bardziej niż kwiatowe przylegają do pędu. W warunkach europejskich wiosną rozwój pąków kwiatowych przebiega dużo wolniej niż u innych drzew i krzewów owocowych; zaczynają się rozwijać dopiero w kwietniu, gdy temperatura wzrośnie powyżej 5°C (2, 3, 8). Pąki aronii czerwonej rozwijają się jeszcze później, w maju.

Jednoroczne pędy aronii czarnoowocowej są koloru ciemnoszarego i nie mają rozgałęzień. Eliptyczne liście mają drobne, ząbkowane brzegi, są skórzaste i błyszczące, osadzone są na krótkich ogonkach z dwoma przylistkami. Szerokość liści na pędach wegetatywnych wynosi 4-6 cm, a długość 6-8 cm. We wrześniu liście *A. melanocarpa* przebarwiają się na żółtopomarańczowy

i purpurowy kolor i opadają szybciej niż u *A. arbutifolia* i *A. × prunifolia* (2, 3, 8). Liście *A. × prunifolia*, tak jak i *A. arbutifolia*, jesienią przebarwiają się na kolor ciemnoczerwony – szkarłatny. Kolor liści aronii czerwonej jest bardziej intensywny (2).

Kwiaty aronii zebrane są w baldachogrona, są obupłciowe, koloru białego lub białoróżowego. Świeżo rozwinięte kwiaty posiadają pręciki z fioletowymi pylnikami. Kwiaty są owadopylne, ale w przypadku niesprzyjających warunków może dochodzić do samozapylenia (8). Na szczególną uwagę zasługuje *A. × prunifolia*, gdzie najczęściej dochodzi do apomiksji, co jest powodem dużej stabilności tej hybrydy.

Pewne cechy morfologiczne owoców różnych gatunków aronii są cechami diagnostycznymi, pozwalającymi na ich rozróżnienie. Dojrzałe owoce *A. melanocarpa* są ciemnogrnatowe, niekiedy prawie czarne, z grubym woskowym nalotem, z kolei owoce *A. × prunifolia* mają kolor ciemnopurpurowy. Średnica dojrzałego owocu *A. melanocarpa* i *A. × prunifolia* wynosi 6-15 mm, owoc waży około 1 g. Znajduje się w nim około 5 nasion (8). Owoce *A. arbutifolia* w okresie dojrzałości mają barwę jasnoczerwoną, są małe – ich średnica waha się w granicach 4-6 mm.

Okres dojrzewania owoców aronii w zależności od gatunku jest różny. Owoce *A. melanocarpa* i *A. × prunifolia* uzyskują dojrzałość w warunkach europejskich na przełomie sierpnia i września, z kolei owoce *A. arbutifolia* dojrzałość uzyskują na przełomie września i października. Co charakterystyczne, owoce aronii czerwonej są trwałe w zimie; nie kurczą się i dość długo utrzymują się na krzewach (2).

Najważniejsze różnice budowy morfologicznej trzech przedstawicieli rodzaju *Aronia* zaprezentowano w tabeli 1.

Charakterystyka fitochemiczna

Spośród trzech przedstawionych gatunków aronii najlepiej poznany jest skład chemiczny owoców *A. melanocarpa*. W dostępnych bazach danych

Tab. 1. Różnice budowy morfologicznej *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia* oraz *A. × prunifolia* (1, 5-7)

Cechy morfologiczne	<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliott	<i>Aronia arbutifolia</i> (L.) Pres.	<i>Aronia × prunifolia</i> (Marsh.) Rehd.
Pokrój	gęsto rozgałęzione krzewy	słabiej rozgałęzione krzewy	dość gęsto rozgałęzione krzewy
Kłącza	brak kłączy	wytwarza kłącza	wytwarza kłącza
Owoce	owoce czarne lub ciemnogrnatowe	owoce ciemnopurpurowe	owoce jasnoczerwone
Liście	jesienią przebarwiają się na żółtopomarańczowy i purpurowy kolor, opadają wcześniej niż u pozostałych gatunków	jesienią przebarwiają się na szkarłatny kolor	jesienią przebarwiają się na czerwony kolor

można odnaleźć liczne publikacje opisujące skład chemiczny świeżych i wysuszonych owoców oraz ekstraktów z wysuszonych owoców *A. melanocarpa*. Najważniejszymi grupami związków występującymi w najwyższych ilościach i determinującymi profil aktywności biologicznej aronii są antocyjany, procyanidyny, flawonoidy, kwasy fenolowe i garbniki (tab. 2).

Spośród wymienionych grup metabolitów najważniejszą rolę pełnią intensywnie barwne antocyjany – głównie pochodne cyjanidyny, m.in. cyjanidyno-3-galaktozyd oraz cyjanidyno-3-arabinozyd (tab. 3). Ważnymi z punktu widzenia aktywności biologicznej są również związki z grupy flawonoidów – pochodne kwercetyny oraz kwasy fenolowe (kwasy hydroksycynamonowe, kwas kawowy) oraz depsydy (kwas

Tab. 2. Całkowita zawartość (mg/g s.m.) głównych grup metabolitów biologicznie aktywnych w świeżych i wysuszonych owocach oraz w ekstraktach z owoców *A. melanocarpa* (26, 47-53)

Grupa metabolitów wtórnych (całkowita zawartość)	Owoce świeże (mg/g s.m.)	Owoce wysuszone (mg/g s.m.)	Ekstrakt z owoców (mg/g s.m.)
Antocyjany	14,80	2,77 (jako ekwiwalent cyjanidyno-3-galaktozydu)	404,50
Proantocyjanidyny	bd	51,82	146,40
Flawonoidy	5,30 (jako ekwiwalent rutyny)	0,22	21,94
Kwasy fenolowe	bd	110,92	110,92

bd – brak danych

Tab. 3. Zawartość głównych związków polifenolowych w świeżych i wysuszonych owocach oraz w ekstraktach z owoców *A. melanocarpa* (26, 48-50, 52-63)

Grupa metabolitów wtórnych	Związki	Owoce świeże (mg/g s.m.)	Owoce wysuszone (mg/g s.m.)	Ekstrakt z owoców (mg/g s.m.)
Antocyjaniny	cyjanidyno-3-galaktozyd	9,90	12,82	314,00
	cyjanidyno-3-arabinozyd	3,99	5,82	159,60
	cyjanidyno-3-ksylozyd	0,52	0,53	40,00
	cyjanidyno-3-glukozyd	0,38	0,42	14,50
	pelargonidyno-3-arabinozyd z pelargonidyno-3-galaktozydem	bd	bd	0,47
Proantocyjanidyny	procyanidyna B1	bd	bd	25,40
Flawonoidy	kwercetyna	bd	bd	1,80
	kwercetyno-3-rutynozyd	bd	18,00	18,30
	kwercetyno-3-galaktozyd	0,30	0,37	8,90
	kwercetyno-3-glukozyd	0,27	bd	21,50
Kwasy fenolowe	kwas hydroksycynamonowy	0,01	bd	bd
	kwas chlorogenowy	0,60	3,02	79,00
	kwas neochlorogenowy	1,23	2,91	44,70
	kwas kawowy	1,41	bd	0,74
Katechiny	(+)-katechina	bd	bd	19,93
	(-)-epikatechina	bd	0,15	12,77

bd – brak danych

chlorogenowy i kwas neochlorogenowy). Należy również podkreślić bardzo wysoką zawartość procyanidyny B1 (tab. 3).

Na szczególną uwagę zasługują witaminy oraz składniki mineralne. Owoce aronii czarnoowocowej są jednym z najcenniejszych źródeł witamin C, E, K, kwasu foliowego i szeregu witamin z grupy B oraz biopierwiastków, takich jak cynk, magnez, potas, wapń i żelazo (tab. 4). Związkom tym i biopierwiastkom towarzyszą inne grupy metabolitów, takie jak: kwasy organiczne (m.in. kwas cytrynowy, kwas jabłkowy), białka, błonnik, karotenoidy, ksantofile i kwasy tłuszczowe (tab. 5).

Skład chemiczny *A. arbutifolia* i *A. × prunifolia* nie jest dobrze poznany. Niemniej jest on równie cenny, szczególnie w przypadku *A. × prunifolia*. Hybryda ta charakteryzuje się wyższą zawartością wybranych związków polifenolowych w porównaniu do aronii czarnoowocowej i czerwonej. Potwierdzają to wyniki badań fitochemicznych przeprowadzonych w Zakładzie Botaniki Farmaceutycznej UJ CM oraz innych zespołów (tab. 6, 7).

Przeprowadzone analizy porównawcze zawartości antocyjanów, flawonoidów i kwasów fenolowych w ekstraktach z wysuszonych owoców i liści udowodniły, iż aronia śliwolistna jest najcenniejszym

źródłem polifenoli. Ponadto badania te wykazały, że liście aronii są wartościowym, potencjalnym surowcem farmaceutycznym i spożywczym. W tabeli 7 przedstawiono zawartość metabolitów polifenolowych w ekstraktach z wysuszonych owoców oraz liści, zbieranych w tym samym okresie wegetacyjnym z krzewów rosnących w kontrolowanych warunkach ekologicznych (Arboretum SGGW w Rogowie).

Aktywność biologiczna i działanie lecznicze

Wielokierunkowe działanie owoców aronii czarnoowocowej, potwierdzone badaniami naukowymi, sprawiło, że produkty z nich sporządzane są z powodzeniem stosowane w celach prozdrowotnych oraz pomocniczo w leczeniu wielu chorób cywilizacyjnych (6).

Działanie przeciwutleniające

Owoce aronii, zarówno świeże, jak i suche, sproszkowane oraz w postaci przetworzonej wykazują wyraźne działanie przeciwutleniające. Aktywność ta uwarunkowana jest wysoką zawartością związków polifenolowych, takich jak antocyjany, flawonoidy, kwasy fenolowe czy garbniki. Ponadto o właściwościach przeciwutleniających decydują również witaminy: C, E, β -karoten oraz biopierwiastki: cynk, miedź i selen. Przeciwutleniające działanie świeżych owoców aronii jest silniejsze niż wielu innych badanych owoców, m.in. blisko czterokrotnie silniejsze niż działanie owoców borówki czarnej, jabłoni, truskawki, żurawiny, a nawet winorośli (3, 4).

Tab. 4. Zawartość (mg/g s.m.) witamin i biopierwiastków w świeżych owocach *A. melanocarpa* (4, 54, 64-68)

Witaminy i biopierwiastki	Zawartość (mg/g s.m.)
Witamina C	0,013-0,27
Witamina E	0,008-0,31
Witamina B ₁	0,0002
Witamina B ₂	0,0002
Witamina B ₃ (niacyna)	0,003
Witamina B ₅ (kwas pantotenowy)	0,0028
Witamina B ₆	0,0003
Witamina K	0,0002
Kwas foliowy	0,0002
Cynk	0,0015
Magnez	0,162
Potas	2,18
Sód	0,026
Wapń	0,322
Żelazo	0,0093

Tab. 5. Zawartość innych grup metabolitów w świeżych owocach *A. melanocarpa* (4, 67-69)

Grupa metabolitów	Związki	Zawartość
Białka		0,7% ś.m.
Karotenoidy	β -karoten	0,0077-0,0168 mg/g ś.m.
	β -kryptoksantyna	0,0046-0,0122 mg/g ś.m.
Ksantofile	wiolaksantyna	0,013 mg/g ś.m.
Kwasy organiczne	kwas cytrynowy	2,10 mg/g ś.m.
	kwas jabłkowy	13,10 mg/g ś.m.
Kwasy tłuszczowe		19,3 g/kg ś.m.
Sterole		1,2 g/kg ś.m.
Węglowodany	błonnik	56,00 mg/g ś.m.
	pektyny	0,6% ś.m.

ś.m. – świeżej masy

Tab. 6. Porównanie zawartości (mg/g s.m.) wybranych bioaktywnych związków w owocach *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia* i *A. × prunifolia* uzyskane w ramach prac badawczych Zakładu Botaniki Farmaceutycznej UJ CM (5)

Badane gatunki	<i>Aronia melanocarpa</i> (mg/g s.m.)	<i>Aronia arbutifolia</i> (mg/g s.m.)	<i>Aronia × prunifolia</i> (mg/g s.m.)
Antocyjany			
Cyjanidyno-3-arabinozyd	5,82	0,08	1,01
Cyjanidyno-3-galaktozyd	12,82	0,73	3,88
Cyjanidyno-3-glukozyd	0,42	0,05	0,05
Cyjanidyno-3-ksylozyd	0,53	–	0,55
Kwasy fenolowe			
Kwas neochlorogenowy	2,91	1,09	3,82
Kwas chlorogenowy	3,02	11,20	13,50
Flawonoidy			
Kwercetyno-3-galaktozyd	0,37	4,94	4,11
Kwercetyno-3-glukozyd	0,22	2,11	2,85
Kwercetyno-3-rutynozyd	0,15	4,82	0,64

Tab. 7. Porównanie zawartości (mg/100 g s.m.) wybranych związków polifenolowych w ekstraktach z wysuszonych owoców i liści trzech badanych gatunków aronii (5)

Grupa metabolitów wtórnych	Oznaczone związki	Owoce			Liście ¹		
		<i>A. melanocarpa</i>	<i>A. arbutifolia</i>	<i>A. × prunifolia</i>	<i>A. melanocarpa</i>	<i>A. arbutifolia</i>	<i>A. × prunifolia</i>
Antocyjany	arabinozyd cyjanidyny	0,62	0,06	1,41	0,00	nw	nw
	galaktozyd cyjanidyny	2,11	1,05	3,23	0,02	0,01	0,01
	glukozyd cyjanidyny	0,11	0,04	0,06	nw	nw	nw
Flawonoidy	kwercetyna	0,12	0,32	0,44	1,09	0,95	2,50
	kwercytryna	nw	nw	nw	1,17	1,65	2,90
	rutyna	nw	nw	nw	0,62	nw	0,75
Kwasy fenolowe	kwas chlorogenowy	2,77	0,16	2,73	4,26	7,24	5,85
	kwas 3,4-dihydroksyfenylooctowy	0,10	0,21	0,04	0,10	0,67	0,09
	kwas neochlorogenowy	1,76	0,92	2,13	3,34	4,50	3,54
	kwas protokatechowy	0,10	0,00	0,04	0,02	0,03	0,02
	kwas rozmarynowy	0,14	0,16	0,09	nw	1,55	nw

nw – nie wykryto

¹maksymalne zawartości uzyskane w różnych okresach wegetacyjnych roślin; w lipcu lub we wrześniu 2013 roku

Wyniki badań aktywności przeciwutleniającej aronii poparte są badaniami *in vitro* (testy: ABTS, DPPH, FRAP, CUPRAC, ORAC) oraz *in vivo* (badania na szczurach oraz badania kliniczne). Przeprowadzone badania własne we współpracy z Zakładem Bromatologii UJ CM (testy DPPH, FRAP) wykazały silny potencjał antyoksydacyjny ekstraktów z liści omawianych gatunków aronii (5).

Działanie przeciwmutagenne

Badania na hodowlach ludzkich limfocytów, poddanych działaniu związków mutagennych (benzopiren i 2-aminofluoren), potwierdziły działanie przeciwmutagenne ekstraktu z owoców aronii. Obecność antocyjanin w badanych ekstraktach wywoływała efekt antygenotoksyczny ze względu na ich zdolność do neutralizowania wolnych rodników, jak i hamowania enzymów aktywujących substancje mutagenne (7).

Działanie przeciwnowotworowe

Silny przeciwutleniający potencjał przetworów z owoców aronii odgrywa istotną rolę w mechanizmie zapobiegania nowotworom (9-11). Polifenole w nich zawarte chronią komórki przed stresem oksydacyjnym i apoptozą prowadzącą do kancerogenezy, ponadto hamują cykl życiowy nieprawidłowych komórek nowotworowych (12, 13). W badaniach *in vitro* potwierdzono hamowanie przez ekstrakty oraz sok z owoców aronii komórek raka jelita grubego HT29 oraz Caco-2 (9, 14-19). Ponadto wykazano hamowanie pod wpływem ekstraktów acetonowych z owoców oraz ekstraktów z liści *A. melanocarpa* rozwoju komórek linii białaczek L1210 i HL60 (20, 21).

Wpływ na układ krążenia

Potwierdzony został ochronny i stymulujący wpływ związków polifenolowych aronii na funkcjonowanie układu sercowo-naczyniowego w zakresie działania przeciwzkrzepowego, naczynioochronnego, kardioochronnego, hipotensyjnego oraz obniżającego stężenie triglicerydów i cholesterolu we krwi. Badania *in vivo* wykazały ochronne oraz odnawiające działanie związków polifenolowych zawartych w przetworach aronii poprzez ich działanie przeciwutleniające i przeciwzapalne na czynność komórek endotelialnych. Badania u mężczyzn z łagodną hipercholesterolemią wykazały, że suplementacja sokiem z aronii prowadziła do znacznego zmniejszenia stężenia cholesterolu całkowitego, cholesterolu LDL i poziomu triglicerydów oraz wzrostu stężenia cholesterolu HDL. Zaobserwowano również w grupie badanych zmniejszenie skurczowego i rozkurczowego ciśnienia tętniczego krwi. Podobne działanie ekstraktu z owoców

aronii stwierdzono u osób leczonych równocześnie statynami, ponadto u pacjentów z przebyłym zawalem serca oraz u pacjentów z cukrzycą typu II (3, 4, 22-24).

Rola w zapobieganiu i leczeniu cukrzycy

Wiele prac naukowych potwierdziło pozytywny wpływ ekstraktów z owoców aronii w zapobieganiu i przebiegu cukrzycy typu II. Wykazano, że podawanie chorym na cukrzycę insulinoniezależną produktów z aronii powodowało obniżenie wysokiego poziomu glukozy we krwi, a także miało korzystny wpływ na poziom hemoglobiny glikowanej HbA1c, jak również cholesterolu i lipidów (3, 4, 25-27). Stwierdzono, że zawarty w soku i ekstraktach z aronii arabinozyd-3-cyjanidyny hamuje aktywność α -glukozydazy, enzymu biorącego udział w rozkładzie węglowodanów. Z kolei kwas chlorogenowy stymuluje metabolizm glukozy i lipidów (28).

Działanie hepatochronne

Działanie ochronne soku oraz nektaru z owoców aronii na komórki wątroby wykazano u szczurów, u których wywołano peroksydację lipidów prowadzącą do śmierci hepatocytów indukowaną czterochlorkiem węgla, aminofenazonem oraz azotynem sodu. Wykazano, że antocyjany oraz inne związki fenolowe zawarte w soku z aronii hamowały peroksydację lipidów (29, 30). Ponadto ekstrakty z owoców aronii były skuteczne w leczeniu niealkoholowego stłuszczenia wątroby (31).

Działanie gastroochronne

Działanie przeciwwrzodowe i ochraniające błonę śluzową przewodu pokarmowego zostało potwierdzone badaniami na zwierzętach. Dowiedziono, że u szczurów, którym nie podawano soku z aronii, przypadki uszkodzenia żołądka wywoływane za pomocą indometacyny występowały częściej (32).

Zastosowanie w chorobach narządu wzroku

Wykazano, że antocyjany z aronii na drodze przyspieszenia odnowy rodopsyny w pręcikach siatkówki oka poprawiały widzenie kolorów, widzenie zmierzchowe i rejestrację obrazów. przeciwutleniające właściwości preparatów z aronii wywierały korzystny wpływ w przypadku rozwijającej się zaćmy, jak i degeneracji plamki żółtej. Poza tym flawonoidy zawarte w owocach aronii przez interakcje z kolagenem poprawiały elastyczność ścian naczyń włosowatych w obrębie gałki ocznej, zmniejszając ich kruchość i przepuszczalność (7).

Działanie promienioochronne

Antocyjany zawarte w ekstraktach z owoców aronii posiadają korzystny wpływ w wywołanej doświadczalnie chorobie popromiennej u szczurów. Antocyjany hamowały powstawanie wolnych rodników oraz gwałtowny spadek liczby białych krwinek. Stwierdzono także zwiększoną regenerację komórek (7).

Również badania przeprowadzone na liniach komórkowych nerki małpy, poddanych działaniu radioaktywnego kompleksu technetu z kwasem 2,3-dimerkaptobursztynowym, potwierdziły promienioochronne działanie cyjanidyny i jej glikozydów, a także ekstraktu zawierającego antocyjaniny aroniowe (7).

Ponadto wykazano, że żel z owoców aronii stosowany na skórę ochraniał ją przed szkodliwym promieniowaniem UVB (10, 33).

Działanie chelatujące

Działanie chelatujące antocyjanów aronii potwierdzono u szczurów zatrutych kadmem. Stwierdzono zmniejszenie akumulacji i toksyczności tego pierwiastka u grupy suplementowanej sokiem z aronii (3). Działanie chelatujące metale ciężkie potwierdziły również badania wpływu antocyjanów aronii na zatrucie ołowiem. Badania wykazały spadek stężenia związków ołowiu w surowicy krwi oraz narządach wewnętrznych (34).

Działanie przeciwzapalne

Wykazano, że działanie przeciwzapalne suchego ekstraktu z owoców aronii ma charakter wielokierunkowy. Związane jest między innymi ze zdolnością flawonoidów oraz antocyjanów do hamowania aktywności cyklooksygenazy 2 (COX-2) i związanych z jej działaniem reakcji zapalnych. Badania prowadzone na hodowlach mysich makrofagów udowodniły hamowanie przez antocyjany degranulacji mastocytów oraz działanie obniżające poziom czynnika martwicy nowotworu (TNF- α) (32).

Działanie przeciwbakteryjne i przeciwwirusowe

Na podstawie przeprowadzonych badań na szczepach bakterii *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* oraz wirusa grypy A (ang. *influenza A virus*) wykazano działanie bakteriostatyczne i przeciwwirusowe soku z owoców aronii (35).

Bezpieczeństwo stosowania

Stosowanie produktów aronii jest powszechne. Nie istnieją jednak żadne dane dotyczące dawek efektywnych i bezpiecznych. Nie jest prowadzona również

ewidencja działań niepożądanych i toksycznych ani dla produktów, ani dla owoców *A. melanocarpa*. Aronia czarnoowocowa nie ma również monografii farmakopealnych, nie jest też surowcem użytkowym zarejestrowanym w takich międzynarodowych bazach jak EFSA (European Food Safety Authority) czy też FAO JECFA (Food and Agriculture Organization of the United Nations, WHO Expert Committee on Food Additives).

Ważne jest, aby nie zażywać leków bezpośrednio z przetworami aronii. Procyjanidyny (głównie procyjanidyna B1) oraz antocyjany (głównie arabinozyd-3-cyjanidyny) są inhibitorami enzymu CYP3A4, który odpowiedzialny jest za biotransformację niektórych leków.

Badania biotechnologiczne

Przedstawiciele rodzaju *Aronia* są obiektem badań biotechnologicznych wielu placówek naukowych. Badania te skupiają się przede wszystkim na gatunku *A. melanocarpa*. Hodowle *in vitro* aronii czarnoowocowej są przedmiotem prac z zakresu: mikrorozmnażania, akumulacji metabolitów wtórnych oraz biotransformacji. Natomiast hodowle *in vitro* *A. arbutifolia* i *A. × prunifolia*, jak wynika z analizy danych z piśmiennictwa, badane są głównie przez zespół z Zakładu Botaniki Farmaceutycznej UJ CM. Wyniki niektórych badań zaprezentowano poniżej.

Mikrorozmnażanie

Opracowywanie protokołów mikrorozmnażania *A. melanocarpa* jest wiodącym kierunkiem badań biotechnologicznych zespołów placówek o profilu ogrodniczo-rolniczym. W zakresie regulatorów wzrostu i rozwoju roślin, stymulujących powstawanie mikrosadzonek (pędy z korzeniami) *A. melanocarpa*, liczne doniesienia wskazują na kompozycje zawierające kwas indolilo-3-masłowy (IBA), 6-benzyloaminopurynę (BA) i kwas giberelinowy (GA₃). Z kolei za optymalne wytypowano standardowe podłoże hodowlane według Murashige i Skoog (MS) (36-39).

Endogenna akumulacja metabolitów wtórnych

W Zakładzie Botaniki Farmaceutycznej UJ CM od 2011 roku prowadzone są szerokie badania biotechnologiczne hodowli *in vitro* *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia* oraz *A. × prunifolia*. Badania te skoncentrowane są na wykorzystaniu potencjału leczniczego metabolitów wytwarzanych przez hodowle *in vitro* tych roślin. Prace skupiają się na optymalizacji warunków prowadzenia tych hodowli w celu uzyskania wysokiej zawartości związków polifenolowych



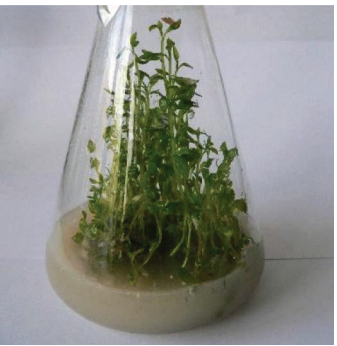

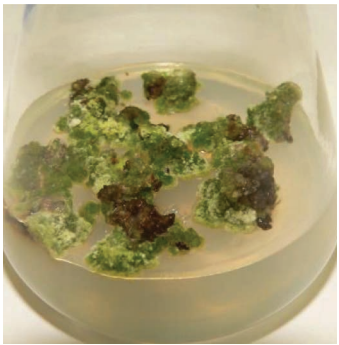


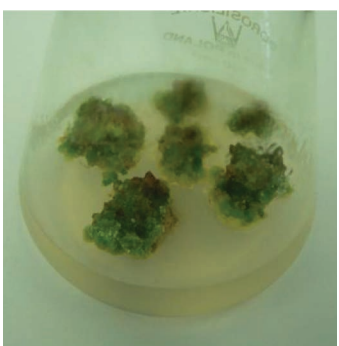
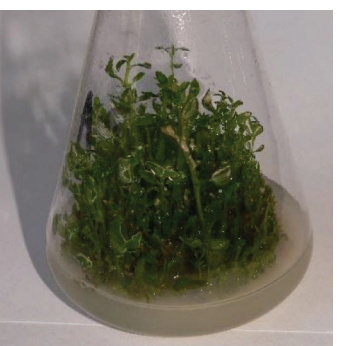
charakterystycznych dla aronii – kwasów fenolowych i flawonoidów. Badania te obejmują prowadzenie różnych typów hodowli *in vitro* – a mianowicie hodowli kalusowych i pędowych agarowych i wytrząsanych (tab. 8) (40, 41).

Optymalizacja prowadzenia hodowli objęła: dobór podstawowego podłoża hodowlanego (podłoże MS oraz Linsmaiera i Skoog (42)), dobór stężenia regulatorów wzrostu rozwoju roślin (6-benzylaminopuryny – BA oraz kwasu 1-naftylooctowego – NAA), jak również czasu trwania okresu hodowlanego. Badania wykazały, że uzyskane maksymalne zawartości głównych metabolitów – kwasu chlorogenowego, kwasu neochlorogenowego oraz kwercytryny, są wyższe

od ich zawartości w materiale roślinnym (owoce) analizowanym w celach porównawczych (tab. 9). Na podstawie interpretacji uzyskanych wyników można przyjąć, że najlepsze rezultaty uzyskano dla hodowli *in vitro* *A. × prunifolia*. W hodowlach pędowych tej hybrydy uzyskano najwyższe zawartości badanych polifenoli. Wysokie zawartości tych związków stwierdzono też w owocach i liściach rośliny macierzystej. Otrzymane wyniki potwierdzają konieczność poszerzenia prac badawczych nad tą rośliną, jako alternatywą dla aronii czarnoowocowej (40, 41).

Na szczególną uwagę zasługują wyniki badań związanych z hodowlami *in vitro* *A. × prunifolia* (tab. 9).

Tab. 8. Różne typy hodowli *in vitro* aronii założone i badane w Zakładzie Botaniki Farmaceutycznej UJ CM

	Kultury pędowe agarowe	Kultury kalusowe	Kultury pędowe wytrząsane
<i>Aronia melanocarpa</i>			
<i>Aronia arbutifolia</i>			
<i>Aronia × prunifolia</i>			

Tab. 9. Maksymalne zawartości wybranych związków polifenolowych uzyskane w ekstraktach z biomasy z hodowli *in vitro* badanych gatunków aronii oraz w ekstraktach z wysuszonych owoców roślin macierzystych (40, 41)

Związki polifenolowe	Aronia melanocarpa (mg/100 g s.m.)				Aronia arbutifolia (mg/100 g s.m.)				Aronia x prunifolia (mg/100 g s.m.)			
	hodowle <i>in vitro</i>		owoce		hodowle <i>in vitro</i>		owoce		hodowle <i>in vitro</i>		owoce	
	maks. zawartość	typ hodowli	podłoże hodowlane ¹	owoce	maks. zawartość	typ hodowli	podłoże hodowlane	owoce	maks. zawartość	typ hodowli	podłoże hodowlane	owoce
Kwas chlorogenowy	114,26		1/1	276,86	91,94		1/1	16,27	131,82		0,1/0,1	273,45
Kwas neochlorogenowy	113,34		1/1	175,88	32,57		0/0	92,26	257,39		0,1/0,1	212,56
Kwas rozmarynowy	106,23		1/1	14,40	77,03		1/1	16,24	206,62		0,1/0,1	9,15
Kwercytryna	44,30		1/1	nw	37,05		1/1	nw	48,41		1/1	nw
Kwas chlorogenowy	105,45		2/2	276,86	175,94		2/2	16,27	260,34		3/1	273,45
Kwas neochlorogenowy	82,00		2/2	175,88	28,03		2/1	92,26	70,91		3/1	212,56
Kwas rozmarynowy	134,24		2/2	14,40	147,98		2/1	16,24	225,71		2/1	9,15
Kwercytryna	nw		nw	nw	41,14		0,5/2	nw	47,86		3/1	nw

¹podłoże hodowlane – najlepsze rezultaty uzyskano na podłożach hodowlanych według Murashige i Skoog (36) zawierających różne stężenia 6-benzyloaminopuryny (BA) oraz kwasu naftylo-1-octowego (NAA); BA/NAA (mg/l)

nw – nie wykryto

Tab. 10. Maksymalne i minimalne zawartości arbutyny uzyskane na drodze reakcji biotransformacji w kulturach *in vitro* trzech gatunków aronii (41, 44-46)

Hodowle <i>in vitro</i>	Zawartość arbutyny w tkance (g/100 g s.m.)	
	minimalna	maksymalna
<i>Aronia melanocarpa</i>	2,81	8,27
<i>Aronia arbutifolia</i>	2,78	8,36
<i>Aronia</i> × <i>prunifolia</i>	2,40	7,36

W ramach przeprowadzonych prac biotechnologicznych przetestowano również wpływ światła monochromatycznego (światło niebieskie, czerwone, daleka czerwień, promieniowanie UVA) oraz brak światła na gromadzenie się polifenoli w hodowlach *in vitro* badanych gatunków aronii. Najlepsze rezultaty uzyskano w przypadku hodowli pędowych *A. × prunifolia*. Światło niebieskie w największym stopniu stymulowało wytwarzanie kwasów fenolowych (maks. zawartość 1615 g/100 g s.m.) i flawonoidów (maks. zawartość 220 g/100 g s.m.) (43).

Prace badawcze przeprowadzone w Zakładzie Botaniki Farmaceutycznej UJ CM, dotyczące optymalizacji procesu biotransformacji podawanego egzogennie hydrochinonu do arbutyny, wykazały wysoką wydajność tego procesu dla hodowli *in vitro* (41, 44-46) (tab. 10).

Podsumowanie

Owoce *A. melanocarpa* są bez wątpienia jednym z najbogatszych naturalnych źródeł związków polifenolowych. Liczne badania naukowe udowadniają skuteczność ekstraktów z owoców i przetworów w zapobieganiu oraz terapii licznych chorób cywilizacyjnych, takich jak: nowotwory, cukrzyca, choroby układu krążenia i układu pokarmowego. Uzyskane dane wskazują, że działanie to jest uwarunkowane głównie wysoką aktywnością przeciwutleniającą kompleksu związków polifenolowych, głównie antocyjanów (pochodnych cyjanidyny) i kwasów fenolowych (kwas chlorogenowy i neochlorogenowy).

Jak dotąd brakuje badań nad składem chemicznym i aktywnością biologiczną aronii czerwonej i śliwolistnej. Jak wynika z naszych badań fitochemicznych, są one również bogatym źródłem związków polifenolowych. Na szczególną uwagę zasługuje hybryda *A. × prunifolia*, której owoce zawierają więcej związków polifenolowych, a także wykazują wyższą aktywność przeciwutleniającą w porównaniu do owoców *A. melanocarpa*.

W świetle prezentowanych badań biologicznych ekstraktów i przetworów z owoców aronii cennymi stają się również badania biotechnologiczne. Wyniki badań fitochemicznych i aktywności przeciwutleniającej zachęcają do prowadzenia tego typu badań. Zarówno hodowle *in vitro* *A. melanocarpa*, jak i *A. arbutifolia* oraz *A. × prunifolia* okazują się być cennym źródłem związków polifenolowych. Szczególnie bogatym źródłem tych metabolitów są hodowle pędowe.

Piśmiennictwo

- Brand MH. Aronia: Native shrubs with untapped potential. *Aroldia* 2010; 67:14-25.
- Celka Z, Szkudlarz P. Spontaneous occurrence and dispersion of *Aronia × prunifolia* (Marshall) Rehder (*Rosaceae*) in Poland on the example of the "Bagna" bog complex near Chlebowo (Western Poland). *Acta Soc Bot Pol* 2010; 79(1):37-42.
- Kokotkiewicz A, Jaremicz Z, Łuczkiwicz M. Aronia plants: a review of traditional use, biological activities, and perspectives for modern medicine. *J Med Food* 2010; 13(2):255-69.
- Kulling SE, Rawel HM. Chokeberry (*Aronia melanocarpa*) – A review on the characteristic components and potential health effects. *Planta Med* 2008; 74(13):1625-34.
- Szopa A, Kokotkiewicz A, Kubica P i wsp. Comparative analysis of different groups of phenolic compounds in fruit and leaf extracts of Aronia sp.: *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia* and *A. × prunifolia*, and their antioxidant activities. *Eur Food Res Technol* 2017. DOI: 10.1007/s00217-017-2872-8.
- Wawer I. Aronia. Polski paradoks. Agropharm, Warszawa 2006.
- Wawer I, Eggert P, Hołub B. Aronia. Super owoc. Wektor, Warszawa 2012.
- Kleparski J, Domino Z. Aronia. PWRiL, Warszawa 1990.
- Lala G, Malik M, Zhao CW i wsp. Anthocyanin-rich extracts inhibit multiple biomarkers of colon cancer in rats. *Nutr Cancer Int J* 2006; 54(1):84-93.
- Pratheeshkumar P, Son YO, Wang X i wsp. Cyanidin-3-glucoside inhibits UVB-induced oxidative damage and inflammation by regulating MAP kinase and NF-κB signaling pathways in SKH-1 hairless mice skin. *Toxicol Appl Pharmacol* 2014; 280(1):127-37.
- Thani NAA, Keshavarz S, Lwaleed BA i wsp. Cytotoxicity of gemcitabine enhanced by polyphenolics from *Aronia melanocarpa* in pancreatic cancer cell line AsPC-1. *J Clin Pathol* 2014; 67(11):949-54.
- Zhao C, Giusti MM, Malik M i wsp. Effects of commercial anthocyanin-rich extracts on colonic cancer and non-tumorigenic colonic cell growth. *J Agric Food Chem* 2004; 52(20):6122-8.

13. Sharif T, Alhosin M, Auger C i wsp. *Aronia melanocarpa* juice induces a redox-sensitive p73-related caspase 3-dependent apoptosis in human leukemia cells. *PLoS One* 2012; 7(3):e32526.
14. Malik M, Zhao C, Schoene N i wsp. Anthocyanin-rich extract from *Aronia melanocarpa* induces a cell cycle block in colon cancer but not normal colonic cells. *Nutr Cancer* 2003; 46(2):186-96.
15. Zhao C, Giusti MM, Malik M i wsp. Effects of commercial anthocyanin-rich on colonic cancer and nontumorigenic colonic cell growth. *J Agric Food Chem* 2004; 52(20):6122-8.
16. Jing P, Bomser JA, Schwartz SJ i wsp. Structure-function relationships of anthocyanins from various anthocyanin-rich extracts on the inhibition of colon cancer cell growth. *J Agric Food Chem* 2008; 56(20):9391-8.
17. Bermúdez-Soto MJ, Larrosa M, García-Cantalejo J i wsp. Transcriptional changes in human Caco-2 colon cancer cells following exposure to a recurrent non-toxic dose of polyphenol-rich chokeberry juice. *Genes Nutr* 2007; 1:11-3.
18. Bermúdez-Soto MJ, Larrosa M, Garcia-Cantalejo JM i wsp. Up-regulation of tumor suppressor carcinoembryonic antigen-related cell adhesion molecule 1 in human colon cancer Caco-2 cells following repetitive exposure to dietary levels of a polyphenol-rich chokeberry juice. *J Nutr Biochem* 2007; 18(4):259-71.
19. Saruwatari A, Isshiki M, Tamura H. Inhibitory effects of various beverages on the sulfoconjugation of 17 β -estradiol in human colon carcinoma caco-2 cells. *Biol Pharm Bull* 2008; 31(11):2131-6.
20. Sueiro L, Yousef GG, Seigler D i wsp. Chemopreventive potential of flavonoid extracts from plantation-bred and wild *Aronia melanocarpa* (black chokeberry) fruits. *J Food Sci* 2006; 71(8):480-8.
21. Skupień K, Kostrzewa-Nowak D, Oszmiański J i wsp. *In vitro* antileukaemic activity of extracts from chokeberry (*Aronia melanocarpa* (Michx) Elliott) and mulberry (*Morus alba* L.) leaves against sensitive and multidrug resistant HL60 cells. *Phyther Res* 2008; 22(5):689-94.
22. Broncel M, Kozirog M, Duchnowicz P i wsp. *Aronia melanocarpa* extract reduces blood pressure, serum endothelin, lipid, and oxidative stress marker levels in patients with metabolic syndrome. *Med Sci Monit Internat Sci Inf* 2010; 16(1):28-34.
23. Naruszewicz M, Łaniewska I, Millo B i wsp. Combination therapy of statin with flavonoids rich extract from chokeberry fruits enhanced reduction in cardiovascular risk markers in patients after myocardial infarction (MI). *Atherosclerosis* 2007; 194(2):179-84.
24. Bell DR, Gochenaur K. Direct vasoactive and vasoprotective properties of anthocyanin-rich extracts. *J Appl Physiol* 2006; 100(4):1164-70.
25. Valcheva-Kuzmanova S, Kuzmanov K, Tancheva S i wsp. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of *Aronia melanocarpa* fruit juice in streptozotocin-induced diabetic rats. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* 2007; 29(2):101-5.
26. Jurgoński A, Juśkiewicz J, Zduńczyk Z. Ingestion of black chokeberry fruit extract leads to intestinal and systemic changes in a rat model of prediabetes and hyperlipidemia. *Plant Foods Hum Nutr* 2008; 63(4):176-82.
27. Badescu M, Badulescu O, Badescu L i wsp. Effects of *Sambucus nigra* and *Aronia melanocarpa* extracts on immune system disorders within diabetes mellitus. *Pharm Biol* 2015; 53(4):533-9.
28. Meng S, Cao J, Feng Q i wsp. Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: A review. *Evid Based Complement Alternat Med* 2013; 1:801457.
29. Valcheva-Kuzmanova S, Borisova P, Galunska B i wsp. Hepatoprotective effect of the natural fruit juice from *Aronia melanocarpa* on carbon tetrachloride-induced acute liver damage in rats. *Exp Toxicol Pathol* 2004; 56(3):195-201.
30. Pool-Zobel BL, Bub A, Schröder N i wsp. Anthocyanins are potent antioxidants in model systems but do not reduce endogenous oxidative DNA damage in human colon cells. *Eur J Nutr* 1999; 38(5):227-34.
31. Park H, Liu Y, Kim HS i wsp. Chokeberry attenuates the expression of genes related to de novo lipogenesis in the hepatocytes of mice with nonalcoholic fatty liver disease. *Nutr Res* 2016; 36(1):57-64.
32. Valcheva-Kuzmanova S, Marazova K, Krasnaliev I i wsp. Effect of *Aronia melanocarpa* fruit juice on indomethacin-induced gastric mucosal damage and oxidative stress in rats. *Exp Toxicol Pathol* 2005; 56(6):385-92.
33. Niedworok J, Gwardys A, Jankowski A i wsp. Badania nad protekcyjnym wpływem żelu antocyjaninowego na fototoksyczne działanie promieni UV. *Ochr Środ Zas Nat* 1999; 18:83-7.
34. Niedworok J, Brzozowski F. The investigation of a biological and phytotherapeutical properties of the *Aronia melanocarpa* E anthocyanins. *Post Fitoter* 2001; (1):20-4.
35. Valcheva-Kuzmanova S, Belcheva A. Current knowledge of *Aronia melanocarpa* as a medicinal plant. *Folia Med* 2006; 48(2):11-7.
36. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 1962; 15(3):473-97.
37. Brand MH, Cullina WG. Micropropagation of red and black chokeberry (*Aronia* spp.). *Hort Sci* 1992; 27(1):81.
38. Petrovic DM, Jacimovic-Plavsic MM. *Aronia melanocarpa* and propagation *in vitro*. *Acta Hort* 1992; (300):133-6.
39. Ruzic D. *In vitro* rooting and subsequent growth of black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) plants *ex vitro*. *J Fruit Orn Plant Res* 1993; 1:1-8.
40. Szopa A, Kubica P, Zajac A i wsp. High production of biologically active depsides – chlorogenic, neochlorogenic and rosmarinic acids in *in vitro* cultures of *Aronia arbutifolia* and *Aronia* \times *prunifolia*. *Acta Physiol Plant* 2017; under review.
41. Szopa A, Kubica P, Setkiewicz A i wsp. Agitated shoot cultures of *Aronia arbutifolia* and *Aronia* \times *prunifolia* as a potential source of some phenolic acids, flavonoids and arbutin. *Plant Cell Tiss Org Cult* 2017; under review.
42. Linsmaier EM, Skoog F. Organic growth factor requirements of tobacco tissue cultures. *Physiol Plant* 1965; (1):100-27.
43. Szopa A, Bigos A, Ekiert H. The influence of applied light quality on the production of phenolic acids and flavonoids in shoot cultures of *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia* and *A.* \times *prunifolia*. *J Photochem Photobiol Biol* 2017; under review.
44. Szopa A, Kubica P, Kwiecień I i wsp. *In vitro* cultures of *Aronia arbutifolia* (L.) Pers. as a source of arbutin obtained via biotransformation of hydroquinone. In: 4th International Conference and Workshop on Plant – the source of research material. Lublin 2015.
45. Szopa A, Kubica P, Kwiecień I i wsp. Biotransformation of hydroquinone into arbutin in *in vitro* cultures of *Aronia prunifolia* (Marsh.). 4th International Conference and Workshop on Plant – the source of research material. Lublin 2015.

46. Kwiecień I, Szopa A, Madej K i wsp. Arbutin production via biotransformation of hydroquinone in *in vitro* cultures of *Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliott. *Acta Biochim Pol* 2013; 60(4):865-70.
47. Oszmianski J, Wojdyło A. *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity. *Eur Food Res Technol* 2005; 221(6):809-13.
48. Jodynis-Liebert J, Adamska T, Ewertowska M i wsp. Effects of long-term administration of freeze-dried chokeberry juice to rats. *J Pharm Nutr Sci* 2014; (2):154-61.
49. Bijak M, Saluk J, Antosik A i wsp. *Aronia melanocarpa* as a protector against nitration of fibrinogen. *Int J Biol Macromol* 2013; 55:264-8.
50. Brzóska MM, Rogalska J, Galazyn-Sidorczuk M i wsp. Protective effect of *Aronia melanocarpa* polyphenols against cadmium-induced disorders in bone metabolism: A study in a rat model of lifetime human exposure to this heavy metal. *Chem Biol Interact* 2015; 229:132-46.
51. Hwang SJ, Yoon WB, Lee OH i wsp. Radical-scavenging-linked antioxidant activities of extracts from black chokeberry and blueberry cultivated in Korea. *Food Chem* 2014;46:71-7.
52. Ryszawa N, Kawczyńska-Drózdź A, Pryjma J i wsp. Effects of novel plant antioxidants on platelet superoxide production and aggregation in atherosclerosis. *J Physiol Pharmacol* 2006; 57(4):611-26.
53. Vlachojannis C, Zimmermann BF, Chrubasik-Hausmann S. Quantification of anthocyanins in elderberry and chokeberry dietary supplements. *Phyther Res* 2015; 29(4):561-5.
54. Benvenuti S, Pellati F, Melegari M i wsp. Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of rubus, ribes, and aronia. *J Food Sci* 2006; 69(3):164-9.
55. Wangenstein H, Bräunlich M, Nikolic V i wsp. Anthocyanins, proanthocyanidins and total phenolics in four cultivars of aronia: antioxidant and enzyme inhibitory effects. *J Funct Foods* 2014; 7(1):746-52.
56. Pérez-Jiménez J, Neveu V, Vos F i wsp. Identification of the 100 richest dietary sources of polyphenols: an application of the Phenol-Explorer database. *Eur J Clin Nutr* 2010; 64(3):112-20.
57. Rugina D, Sconța Z, Leopold L i wsp. Antioxidant activities of chokeberry extracts and the cytotoxic action of their anthocyanin fraction on HeLa human cervical tumor cells. *J Med Food* 2012; 15(8):700-6.
58. Wu X, Gu L, Prior RL i wsp. Characterization of anthocyanins and proanthocyanidins in some cultivars of Ribes, Aronia, and Sambucus and their antioxidant capacity. *J Agric Food Chem* 2004; 52(26):7846-56.
59. Zheng W, Wang SY. Oxygen radical absorbing capacity of phenolics in blueberries, cranberries, chokeberries, and lingonberries. *J Agric Food Chem* 2003; 51(2):502-9.
60. Jakobek L. Antioxidant activity and polyphenols of Aronia in comparison to other berry species. *Agric Conspec Sci* 2007; 72(4):301-6.
61. Kim B, Ku CS, Pham TX i wsp. *Aronia melanocarpa* (chokeberry) polyphenol-rich extract improves antioxidant function and reduces total plasma cholesterol in apolipoprotein E knockout mice. *Nutr Res* 2013; 33(5):406-13.
62. Taheri R, Connolly BA, Brand MH i wsp. Underutilized chokeberry (*Aronia melanocarpa*, *Aronia arbutifolia*, *Aronia prunifolia*) accessions are rich sources of anthocyanins, flavonoids, hydroxycinnamic acids, and proanthocyanidins. *J Agric Food Chem* 2013; 61(36):8581-8.
63. Wang H, Cao G, Prior RL. Total antioxidant capacity of fruits. *J Agric Food Chem* 1996; 44:701-5.
64. Andrzejewska J, Sadowska K, Klóska Ł i wsp. The effect of plant age and harvest time on the content of chosen components and antioxidative potential of black. *Acta Sci Pol* 2015; 14(4):105-14.
65. Sikora J, Markowicz M, Mikiciuk-Olasik E. Rola i właściwości lecznicze aronii czarnoowocowej w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Bromat Chem Toksykol* 2009; 42(1):10-7.
66. Stralsjoe L, Ahlin H, Witthoef CM i wsp. Folate determination in Swedish berries by radioprotein-binding assay (RPBA) and high performance liquid chromatography (HPLC). *Eur Food Res Technol* 2003; 216(3):264-9.
67. Tanaka T, Tanaka A. Chemical components and characteristics of black chokeberry. *J Jpn Soc Food Sci Technol* 2001; 48:606-10.
68. Razungles A, Oszmański J, Sapis J-C. Determination of carotenoids in fruits of *Rosa* sp. (*Rosa canina* and *Rosa rugosa*) and of chokeberry (*Aronia melanocarpa*). *J Food Sci* 1989; 54(3):774-5.
69. Boncheva M, Georgiev G, Shishkov V. Intake of *Aronia melanocarpa* juice improves medical tests and the feeling of health in patients with non-alcoholic fatty liver disease. *Gen Med* 2013; 15(2):21-30.

Konflikt interesów

Conflict of interest

Brak konfliktu interesów

None

otrzymano/received: 15.03.2017

zaakceptowano/accepted: 13.04.2017

Adres/address:

*dr n. farm. Agnieszka Szopa

Katedra i Zakład Botaniki Farmaceutycznej

Wydział Farmaceutyczny Collegium Medicum

Uniwersytet Jagielloński

ul. Medyczna 9, 30-688 Kraków

tel. +48 (12) 620-54-36

e-mail: a.szopa@uj.edu.pl