

**TOMASZ PIECHOWIAK, RADOSŁAW JÓZEFczyk, MACIEJ BALAWEJDER**

Zakład Chemii i Toksykologii Żywności, Instytut Technologii Żywności i Żywnienia, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-601 Rzeszów, e-mail: [tpiechowiak@ur.edu.pl](mailto:tpiechowiak@ur.edu.pl)

**PRZETWARZANIE ODPADÓW Z PRODUKCJI CEBULI  
W ŻYWNOSĆ FUNKCJONALNĄ**

*W prezentowanej pracy przedstawiono przegląd dotychczasowego stanu prac badawczych związanych z wykorzystaniem łuski cebuli w produkcji żywności funkcjonalnej. Opisano dotychczasowe metody wyodrębniania związków bioaktywnych z łuski cebuli, wpływ antyoksydantów na właściwości funkcjonalne i prozdrowotne żywności oraz ich rolę w prewencji chorób cywilizacyjnych. Łuska cebuli jest odpadem powstającym podczas produkcji cebuli. Jak się okazuje, materiał ten, charakteryzuje się wysoką zawartością związków o charakterze antyoksydacyjnym, głównie flawonoidów (2-10 g/kg łupiny).*

**Słowa kluczowe:** cebula, antyoksydanty, flawonoidy, żywność funkcjonalna

**I. WSTĘP**

Cebula zwyczajna (*Allium cepa* L.) jest drugim co do wielkości produkcji (po pomidorach) warzywem uprawianym na świecie. Według analiz prowadzonych przez Organizację Narodów Zjednoczonych d.s. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO, ang. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*) w pierwszej dekadzie naszego wieku zaobserwowano prawie 50% wzrost światowej produkcji cebuli. Szacuje się, że w 2017 roku jej światowa produkcja wynosiła ~ 97 mln ton, z czego w Europie i w Polsce odpowiednio ~ 10 mln i ~ 600 tys. ton. Przewiduje się, że powierzchnia upraw będzie wzrastać, co stwarza szersze możliwości technologicznego wykorzystania tej rośliny. Obecnie w krajowym rejestrze Centralnego Ośrodka Badań Odmian Roślin Uprawnych (COBORU) widnieje 67 odmian cebuli zwyczajnej, które można sklasyfikować pod względem barwy a także smaku, wielkości oraz terminu zbioru. W Polsce najbardziej rozpowszechnione są odmiany cebuli o żółtej barwie wysuszonych, zewnętrznych liści, tzw. łusce. Szacuje się, że tylko około 7% zbiorów cebuli kierowane jest bezpośrednio do przetworzenia. Pozostałą część plonu poddaje się zabiegom agrotechnicznym, które umożliwiają jej długotrwałe przechowywanie do momentu wykorzystania. Cebulę po zbiorze dosusza się za pomocą suszenia naturalnego: w pierwszym etapie na plantacji (3-7 dni), następnie w przechowalni (temp. 20-25°C) do 12% wilgotności łuski zewnętrznej. Wówczas cebula tworzy charakterystyczną, suchą, dobrze wybarwioną łuskę, która chroni roślinę przed nadmierną transpiracją i oddychaniem, rozwojem chorób przechowalniczych oraz uszkodzeniami mechanicznymi [Sayed i in. 2014, Ohaneye i in. 2019].

Wykorzystanie cebuli w różnych gałęziach przemysłu spożywczego opiera się głównie na użyciu mięsistych, wewnętrznych części liści. Przed kierowaniem jej do handlu lub przetworzenia, pozostałe części morfologiczne; tj. łodyga, korzeń oraz a także łuska, stanowią odpad, który dla producentów cebuli jest bardzo problematyczny. Ulega on szybko zakażeniom mikrobiologicznym, a także posiada silny, nieprzyjemny zapach, który utrudnia składowanie lub wykorzystanie jako paszy dla zwierząt [Benitez i in. 2011]. Zgodnie z literaturą, w Unii Europejskiej powstaje rocznie około 500 tys. ton tych odpadów, głównie w Hiszpanii, Wielkiej Brytanii, Holandii oraz Polsce, z których łuska stanowi przeważającą ilość [Benitez i in. 2011].

Z łuski cebuli można wytworzyć nawóz. Jak podają Dach i Niżewski [2008] do produkcji z niej kompostu niezbędne są dodatkowe składniki strukturotwórcze oraz poprawiające stosunek ilości węgla ogólnego do azotu. Wykazano, że dodatek słomy oraz wywaru gorzelniczego umożliwia wytworzenie kompostu o dobrych właściwościach, oraz zasadowym odczynie, co jest bardzo korzystną cechą nawozu rolniczego. Pellejero i in. [2017] sprawdzali wpływ kompostu z odpadów cebuli na plonowanie sałaty. Stwierdzili brak różnic w zawartości suchej i świeżej masy plonu oraz długości korzenia między sałatą nawożoną kompostem i nawozem mineralnym, a także wzrost tych parametrów wraz ze zwiększaniem się dawki nawozu. Wnioskowali, że kompost z odpadów cebulowych może zastąpić stosowanie nawozów nieorganicznych. Łuskę cebuli wykorzystywano także do produkcji biowęgla, jako surowca do wytworzenia elektrokatalizatorów [Lemus-Alonso i in. 2019], dodatku do pasz [Obidziński i in. 2017] oraz jako źródło barwników do tkanin [Onal 1996, Zubairu i Msheila 2015]. Zgodnie z założeniami zrównoważonego rozwoju, konieczne jest poszukiwanie metod zagospodarowania odpadów organicznych, które pozwolą na odzysk surowców a ewentualnie energii do kolejnych procesów produkcyjnych [Benitez i in. 2011].

Skład chemiczny cebuli, a zarazem jej wartość odżywcza i biologiczna, zależą od odmiany i czynników związanych z warunkami klimatyczno-glebowymi, agrotechniką oraz czasem przechowywania. Głównym składnikiem jej świeżej masy jest woda (80-95%), a w suchej masie dominują cukry (min. 65%) tj. glukoza, fruktoza, sacharoza i fruktooligosacharydy [Albishi i in. 2013]. Za barwę cebuli odpowiadają związki z grupy flawonoidów. W przypadku cebuli żółtej i białej, barwę kształtuje kwercetyna i jej glikozydy, zaś czerwonej – antocyjany [Benitez i in. 2011]. Prekursorem specyficznego smaku i zapachu cebuli jest alliina i jej pochodne. Podczas naruszenia tkanki rośliny, aminokwas ten ulega hydrolizie enzymatycznej pod wpływem alliinazy do allicyny, ta z kolei może przekształcać się do innych związków siarkowych, np. winyloditiny, ajoenu, disiarczku diallilu, które nadają cebuli ostry i dławiący zapach. Ponadto cebula jest źródłem witaminy C, witamin z grupy B oraz składników mineralnych [Deither i in. 2013, Griffiths i in. 2002, Ohaneye i in. 2019].

Cebula jest surowcem dla przetwórstwa nie tylko ze względu na swoje walory smakowe, ale także przez wysoką wartość prozdrowotną. Udowodniono, że fitozwiązki zawarte w cebuli pomagają chronić organizm przed wieloma chorobami cywilizacyjnymi. Związki siarkoorganiczne wykazują silne działanie przeciwdrobnoustrojowe, przeciwzapalne, antyalergiczne oraz przeciwzakrzepowe. Flawonoidy głównie kwercetyna i kemferol chronią organizm przed stresem oksydacyjnym, którego następstwem są choroby nowotworowe, neurodegeneracyjne, sercowo-naczyniowe oraz cukrzyca [Benitez i in. 2011, Fossen i Andersen 2003, Griffiths i in. 2002, Slimestad i in. 2007].

Biorąc pod uwagę dużą masę odpadów z upraw rolniczych cebuli, problematyczność ich zagospodarowania ze względu na skład przy jednocześnie wysokiej wartości części składników, celem opracowania jest zaprezentowanie prób wykorzystania odpadów tej rośliny; w tym jako źródła składników użytecznych w żywności funkcjonalnej.

## II. MATERIAŁ I METODY

Rozważania możliwości wykorzystania łuski cebuli do pozyskania substancji użytecznych, prowadzono na podstawie dostępnego piśmiennictwa światowego. Zaprezentowano cebulę jako źródło antyoksydantów, znaczenie flawonoidów z cebuli w zbilansowanej diecie oraz potencjał łuski z cebuli dla produkcji żywności funkcjonalnej.

## III. CEBULA JAKO ŹRÓDŁO ANTYOKSYDANTÓW

### *Właściwości antyoksydacyjne fitozwiązków*

Reaktywne formy tlenu (RFT, ang. *reactive oxygen species*) jako niestabilne i bardzo reaktywne są produkowane w komórkach organizmów tlenowych podczas naturalnych procesów metabolicznych. Należy wymienić tlen singletowy, anionorodnik ponadtlenkowy, rodnik hydroksylovowy oraz nadtlenek wodoru. RFT uwalnianie w odpowiednio niskich stężeniach pełnią rolę regulatorów i mediatorów licznych procesów w komórce. Tworzenie RFT jest intensyfikowane przez wiele czynników zewnętrznych związanych głównie ze stylem życia. Gdy komórka nie jest w stanie nadążyć za nadmiernym i długotrwałym wytwarzaniem RFT, przez generowanie określonych mechanizmów obronnych, dochodzi do stresu oksydacyjnego. Nadmiar RFT powoduje wtedy oksydacyjne modyfikacje różnych komponentów komórki; np. lipidów, białek (w tym enzymatycznych), DNA, co prowadzi do zaburzeń funkcjonowania, uszkodzenia komórki, a w ostateczności do jej destrukcji. Konsekwencją jest wystąpienie wielu chorób nowotworowych, neurodegeneracyjnych w tym Parkinsona i Alzheimerera, także cukrzycy i chorób sercowo-naczyniowych [Ray i in. 2012].

Komórki organizmów tlenowych są stale ekspozowane na działanie reaktywnych form tlenu. Rozwinęły więc wielokierunkowe mechanizmy obronne które mają na celu ochronę struktur komórkowych przed ich toksycznym działaniem. Główną funkcję w zwalczaniu RFT przypisuje się enzymom antyoksydacyjnym. Enzymy te skutecznie współdziałając ze sobą, katalizują rozkład RFT do form obojętnych dla komórki, np. dysmutaza ponadtlenkowa, katalaza, peroksydaza i reduktaza glutationowa. Funkcję drugorzędą przypisuje się niskocząsteczkowym antyoksydantom, bezpośrednio reagującym z RFT (nie zostały przez aparat enzymatyczny unieczynnione, lub pośrednio przez reagowanie z substancjami które indukują wytwarzanie RFT). Do tej grupy należą związki, które organizm sam wytwarza; np. glutation, kwas moczowy, bilirubina i dostarczane z pożywieniem, np. polifenole w tym flawonoidy, kwas askorbinowy, tokoferole oraz karotenoidy [Apel i Hirt 2004, Boots i in. 2008, Ray i in. 2012].

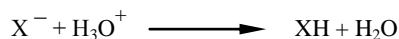
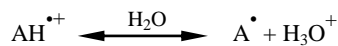
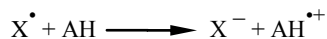
Zdolność flawonoidów do zmniejszania poziomu reaktywnych form tlenu w komórkach ma charakter wielokierunkowy. Flawonoidy mogą bezpośrednio reagować z RFT według dwóch mechanizmów reakcji SET (ang. *single electron transfer*), w którym elektron przenoszony jest z przeciwutleniacza na utleniacz oraz HAT (ang. *hydrogen atom transfer*), co polega na oddaniu atomu wodoru przez przeciwutleniacz. W wyniku tych reakcji powstają odpowiednie indywidua, które nie mają już zdolności do uszkodzania składników komórek (rys. 1). Zdolność flawonoidów do wygaszania RFT potwierdzono, zarówno *in vitro*, w reakcjach bezpośrednich z rodnikami, np. z wykorzystaniem syntetycznych rodników ABTS<sup>•+</sup>, DPPH<sup>•</sup> lub układów generujących wolne rodniki, w tym linii komórkowych, jak również *in vivo* przy udziale zwierząt doświadczalnych i ludzi [Apel i Hirt 2004]. Flawonoidy przyczyniają się także do przerywania reakcji wolnorodnikowych, które prowadzą do utlenienia lipidów. Uważa się, że peroksydacja lipidów jest jednym z poważnych następstw stresu oksydacyjnego, z punktu widzenia funkcjonowania komórki i zachowania zdrowia. Utlenianie wielonienasyconych kwasów tłuszczowych zawartych w lipidach błon komórkowych, przez reaktywne formy tlenu lub międzyprodukty i końcowe produkty peroksydacji, powoduje zmiany w przepuszczalności i potencjale powierzchniowym błony, które w konsekwencji

zmieniają ciśnienie osmotyczne wewnątrz komórki, prowadząc do jej obrzęku i śmierci [Apel i Hirt 2004]. Ponadto produkty peroksydacji mogą uszkadzać inne komponenty komórki w tym DNA oraz białka enzymatyczne.

Mechanizm HAT :  
hydrogen atom transfer



Mechanizm SET :  
single electron transfer



Źródło: Apel i Hirt [2004] / Source: Apel and Hirt [2004]

**Rys. 1.** Mechanizmy reakcji neutralizowania wolnych rodników przez przeciwutleniacze

**Fig. 1.** Reaction mechanisms for neutralizing free radicals by antioxidants

Park i Kim [2007] podawali szczurom pokarm zawierający wysuszoną, zmieloną cebulę (wewnętrzne liście), łuskę cebuli oraz etanolowe ekstrakty z tych materiałów. Dowiedli, że zawartość kwercetyny oraz izoramnetyny w osoczu krwi szczurów karmionych łuską cebuli oraz ekstraktem z łuski cebuli była istotnie wyższa niż u szczurów karmionych preparatami z właściwej części rośliny, co także było skorelowane z całkowitą aktywnością przeciwutleniającą osocza krwi. Poziom peroksydacji lipidów w wątrobie szczurów wyrażony jako poziom substancji reagujących z kwasem tiobarbiturowym (metoda TBARS, ang. *thiobarbituric reactive substances*) był niższy niż w próbie kontrolnej (osobniki nie karmione preparatami z cebuli), z kolei najniższy zaobserwowano u szczurów karmionych sproszkowaną i wysuszoną łuską.

Flawonoidy przyczyniają się do obniżenia aktywności enzymów biorących udział w enzymatycznej peroksydacji lipidów np. lipooksygenazy, fosfolipazy oraz cyklooksygenazy, a także chelatowania jonów metali. Należy tu wspomnieć, że zbyt wysokie, нефизиологические stężenia flawonoidów, w pewnych warunkach, mogą wywoływać efekt pro-oksydacyjny [Eghbaliferiz i Iranshahi 2016].

#### **Wybrane, inne właściwości biologiczne flawonoidów**

Oksydaza ksantynowa (XO, EC 1.17.3.2) katalizuje przekształcenie hipoksantyny do ksantyny, a następnie ksantyny do kwasu moczowego. Zwiększony poziom kwasu moczowego we krwi może prowadzić do poważnych powikłań; m.in. wystąpienia chorób takich jak dna moczanowa i kamica nerkowa. Flawonoidy są zdolne do obniżania aktywności oksydazy ksantynowej. Umamaheswari i in. [2011] badali aktywność inhibicyjną flawonoidów w stosunku do XO metodą dokowania molekularnego *in silico*. Wszystkie analizowane flawonoidy; m.in. ramnetyna i izoramnetyna miały zdolność do hamowania aktywności XO.

Cyklooksygenaza (COX, EC 1.14.99.1) jest enzymem, który katalizuje przemianę kwasu arachidonowego do prostaglandyn i tromboksanów. Izoforma COX-1, jest odpowiedzialna za syntezę prostaglandyn, które utrzymują prawidłową pracę układu pokarmowego człowieka oraz krwionośnego, zaś aktywność izoformy COX-2 jest indukowana podczas odpowiedzi immunologicznej i wystąpienia stanu zapalnego. Wykazano, że flawonoidy należące do flawonoli, flawanonów, flawonów oraz izoflawonów selektywnie hamowały aktywność COX-2. Madeswaran i in. [2012] stwierdzili, że silbinina, galanginina, skopoletyna, hesperydyna, genisteina, daidzeina, eskulatyna, taksyfolina oraz naringenina przyczyniły się do hamowania COX-2. Energia wiązania flawonoidów z centrum aktywnym enzymu (metoda dokowania *in silico*)

zawierała się w zakresie  $\square 8,77$  kcal/mol do  $\square 6,24$  kcal/mol i była porównywalna z energią wiązania wzorca celekoksybu ( $\square 8,30$  kcal/mol) - niesteroidowego leku przeciwzapalnego i przeciwbólowego. Wyniki badań przyczyniły się dalszego rozwoju badań nad wykorzystaniem flawonoidów do leczenia stanów zapalnych organizmu, jako selektywnych inhibitorów COX-2, nie powodujących skutków ubocznych związanych z hamowaniem aktywności COX-1 [Panche i in. 2016].

W wielu badaniach wykazywano także, że dieta bogata we flawonoidy przyczynia się do obniżenia ciśnienia krwi oraz zmniejszenia ryzyka wystąpienia chorób sercowo-naczyniowych. Hugel i in. [2016] opisują, że spożywanie produktów spożywczych bogatych w flawonoidy poprawia funkcje śródbłonna naczyń krwionośnych przez aktywację endotelialnej syntazy tlenu azotu i kinazy białkowej B. W pracy Lee i in. [2011], sprawdzano wpływ spożycia kwercetyny na ciśnienie krwi u pacjentów z nadwagą i otyłością oraz nadciśnieniem tętniczym. Zaobserwowano, że poziom ciśnienia krwi po spożyciu kwercetyny uległ znacznemu obniżeniu [Lee i in. 2011]. Ponadto dowiedziono, że regularne spożywanie ekstraktów antocyjanów oraz form oczyszczonych prowadzi do obniżenia poziomu cholesterolu LDL we krwi [Edwards i in. 2007]. Co więcej, Kerry i Abbey [1997] dowiedli, że wiązanie wolnych rodników przez flawonoidy, powoduje zmniejszenie stopnia utleniania frakcji cholesterolu LDL (*in vitro*), co ma szczególne znaczenie w profilaktyce zapobiegania miażdżycy.

Acetylocholinoesteraza (AChE, EC 3.1.17) jest enzymem, który odgrywa istotną rolę w funkcjonowaniu ośrodkowego i obwodowego układu nerwowego. Katalizuje ona hydrolizę neuroprzekaźnika acetylocholino do choliny i kwasu octowego. Hamowanie aktywności AChE jest jednym ze sposobów leczenia wielu chorób i zaburzeń neurologicznych takich jak choroba Alzheimera, ataksja czy ośpienie starcze [Panche i in. 2016]. W wielu dotychczas prowadzonych badaniach dowiedziono, że niektóre związki flawonoidowe wykazują inhibicyjną zdolność w stosunku do acetylocholinoesterazy. Khan i in. [2009] stwierdzili, że stopień hamowania aktywności acetylocholinoesterazy oraz butyrylocholinoesterazy przez flawonoidy tj. kwercetynę, rutynę i makluraksantynę był ściśle skorelowany ze stężeniem flawonoidów w warunkach *in vitro*. Stwierdzili również, że kwercetyna oraz rutyna wykazują inhibicję kompetycyjną wobec substratu, z kolei makluraksantyna niekompetycyjną, lecz wiąże się ona znacznie ściślej z enzymem niż pozostałe flawonoidy.

Działanie przeciwnowotworowe związków flawonoidowych jest powiązane z ich zdolnością do minimalizacji wystąpienia stresu oksydacyjnego w komórkach. Jak się okazuje, flawonoidy mogą w sposób bezpośredni lub pośredni wpływać na indukcję apoptozy oraz hamować proliferację, metastazę i angiogenezę komórek nowotworowych [Czaplińska i in. 2012, Shanmugan i in. 2010]. Shi i in. [2016] badali wpływ izolatów z łuski cebuli; tj. kwercetyny, izoramnetyny, rutyny oraz kemferolu na żywotność komórek linii białaczki K562. Stwierdzili, że kwercetyna i kemferol wykazywały silny efekt cytotoksyczny w stosunku do komórek nowotworowych, mierzony testem MTT, tym większy im wyższe było stężenie tych flawonoidów w pożywce hodowlanej. Z kolei rutyna i izoramnetyna wykazywały niewielkie działanie zwiększające proliferację komórek linii K562. Hashemzaei i in. [2017] badali aktywność przeciwnowotworową kwercetyny w stosunku do komórek raka jelita grubego (CT-26), raka prostaty (linie LNCaP, PC3), guza chromochłonnego nadnercza szczura (PC12), estrogenozależnego gruczolakoraka piersi (MCF-7), ludzkiej białaczki limfoblastycznej (MOLT-4 T), ludzkiego szpiczaka (U266B1), ludzkich limfoidalnych komórek Raji oraz komórek CHO raka jajnika. Stwierdzili, że kwercetyna indukuje apoptozę wszystkich testowanych linii komórkowych w założonym zakresie stężeń (10-120  $\mu\text{M}$ ). Co więcej, związki flawonoidowe mogą powodować wzrost stężenia niektórych cytotatyków w komórkach nowotworowych. Kwercetyna np. zwiększała stężenie doksorubicyny w komórkach raka piersi, z kolei genisteina

cisplatinę (*in vitro*). W badaniach *in vivo* kwercetyna natomiast podwyższała działanie cisplatinę i busulfanu w komórkach nowotworowych, lecz nie wpływała na aktywność doksorubicyny i etopozylu [Czaplińska 2012].

Właściwie zbilansowana dieta, dostarczająca odpowiednią porcję flawonoidów, jest bardzo ważnym elementem zachowania zdrowia i profilaktyki wielu chorób cywilizacyjnych, których główną przyczyną jest stres oksydacyjny. Wobec tego, zasadne jest poszukiwanie nowych źródeł flawonoidów, które po spożyciu skutecznie neutralizowałyby nadmiar wolnych rodników, a także opracowywania nowych technik izolacji, badania właściwości biologicznych oraz interakcji między poszczególnymi składnikami żywności, które pozwolą na ustalenie optymalnych ilości ich dziennego zapotrzebowania.

#### IV. FLAWONOIDY UZYSKANE Z CEBULI W ZBILANSOWANEJ DIECIE

Analizę na temat możliwości wykorzystania łuski cebuli do pozyskania substancji użytecznych w żywności funkcjonalnej w dostępnym piśmiennictwie, przedstawiono w poniższym rozdziale. Opisano metody wyodrębniania związków bioaktywnych z łuski cebuli, wpływ antyoksydantów na właściwości funkcjonalne i prozdrowotne żywności oraz ich rolę w prewencji chorób cywilizacyjnych.

Wyniki cytowanych badań wskazują, że łuska cebuli charakteryzuje się wysoką zawartością substancji, które posiadają silne właściwości prozdrowotne. Jak podają Benitez i in. [2011] łuska cebuli jest materiałem bogatym w błonnik pokarmowy (szczególnie we frakcje nierozpuszczalne), flawonoidy oraz składniki mineralne (tab. 1).

**Tabela 1 - Table 1**

Zawartość wybranych składników o potencjalnym znaczeniu biologicznym, w cebuli (odmiana Reces)  
*Content of selected ingredients with potential biological significance in onions (variety Reces)*

Parametr / <i>Parameter interior</i>	Cała cebula <i>Whole onion</i>	Wnętrze <i>Onion inside</i>	Łuska <i>Onion skin</i>
błonnik całkowity/ <i>total fiber</i> [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	291	222	750
fruktooligosacharydy/ <i>fructooligosaccharides</i> [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	38,5 ±1,2	39,4 ±0,3	6,4 ±0,5
związki siarki / <i>sulfur compounds</i> [μmol·g <sup>-1</sup> s.m.]	121,9 ±3,2	39,4 ±0,3	15,6 ±0,6
polifenole / <i>polyphenols total</i> [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ] <sup>A</sup>	17,3 ±1,3	9,4 ±0,6	52,7 ±0,9
flawonoidy ogółem [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ] <sup>B</sup>	10,3 ±0,3	7,0 ±0,1	43,1 ±1,8
flawonole ogółem [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	8,84 ±1,41	6,19 ±0,23	7,78 ±0,37
kwercetyna [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	0,91 ±0,04	0,02 ±0,00	1,61 ±0,02
kwercetyno-3-glukozyd/ <i>quercetin3-glucoside</i> [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	0,16 ±0,03	0,10 ±0,01	0,31 ±0,01
izoramnetyno-4-glukozyd/ <i>isoramnetyno-4-glucoside</i> [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	0,53 ±0,07	0,25 ±0,01	0,32 ±0,02
akt. antyoks. / <i>antioxidant activity</i> [μmol·g <sup>-1</sup> s.m.] <sup>C</sup>	83,5 ±1,8	28,7 ±1,7	227,8 ±3,2
K [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	14,1 ±0,5	15,9 ±0,2	4,2 ±0,1
Ca [mg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	6,6 ±0,3	3,5 ±0,0	30,7 ±0,7
Fe [μg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	53,2 ±1,3	43,6 ±1,6	119,8 ±1,1
Zn [μg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	19,6 ±0,3	28,4 ±0,6	14,9 ±0,1
Se [μg·g <sup>-1</sup> s.m. / <i>d.m.</i> ]	0,34 ±0,04	0,93 ±0,02	0,9 ±0,06

Źródło / *Source* [Benitez i in. 2011]

**A** – wyrażone jako ekwiwalent kwasu galusowego / *expressed as gallic acid equivalent*; **B** – wyrażone jako ekwiwalent kwercetyny / *expressed as quercetin equivalent*; **C** – wyrażone jako ilość chelatowanych jonów żelaza (II) (metodyka FRAP) / *expressed as the amount of chelated iron (II) ions (FRAP methodology)*;

s.m. – sucha masa / *dry mass*

Stwierdzili, że zawartość błonnika w łusce jest prawie 3-razy większa niż w wewnętrznych częściach liści, poziom polifenoli ogółem ~5-razy, z kolei potencjał antyoksydacyjny odpowiednio ~7-razy większy. Ponadto udowodnili, że kwercetyna jest tu dominującym związkciem flavonoidowym (zanotowali niemal 70-krotnie większą zawartość kwercetyny w łusce cebuli niż we wewnętrznych częściach liści).

Skład jakościowy i ilościowy flavonoidów w łusce cebuli zależy od jej odmiany. W cebuli białej i żółtej dominują związki należące do grupy flawonoli, tj. kwercetyna, kemferol, izoramnetyna oraz ich pochodne glikozydowe. W niektórych odmianach cebuli wyodrębniono także kwas protokatechowy, w cebuli czerwonej – antocyjany [Albishi i in. 2013, Piovesan 2017]. Albishi i in. [2013] stwierdzili, że poziom wolnej kwercetyny w łusce cebuli zmniejszał się zależnie od barwy cebuli: cebula perłowa > cebula żółta > cebula czerwona > cebula biała.

W ostatnich latach, uwagę naukowców przykuwają związki flavonoidowe; kształtują cechy sensoryczne wielu surowców pochodzenia roślinnego i wykazują szerokie spektrum działania w ochronie organizmu przed chorobami cywilizacyjnymi, głównie dzięki silnym właściwościom antyoksydacyjnym [Martini i in. 2017].

## V. ŁUSKA CEBULI W PRODUKCJI ŻYWNOŚCI FUNKCJONALNEJ

Żywność funkcjonalną określa się mianem żywności, która poza zaspokajaniem podstawowych potrzeb żywieniowych tj. dostarczanie porcji węglowodanów, białek i tłuszczów, wykazuje także udokumentowane efekty, w postaci znacznego poprawienia samopoczucia, stanu zdrowia i / lub zmniejszenia ryzyka choroby [Alkathaib 2017, Hasler 2002].

Wartość biologiczną żywności można zwiększać jeszcze na etapie produkcji surowca np. przez hodowlę odmian roślin o polepszonej wartości odżywczej lub wzbogacanie mieszanek paszowych o składniki, o działaniu prozdrowotnym, jak również na etapie wytwarzania właściwego produktu, przez dodatek składników działających korzystnie na organizm człowieka np. błonnika, probiotyków, prebiotyków, witamin, soli mineralnych oraz antyoksydantów. Bez wątpienia, korzystniejsze z żywieniowego punktu widzenia i bardziej akceptowalne przez konsumentów jest wzbogacanie żywności dodatkami naturalnymi niż syntetycznymi. Dlatego też, producenci coraz częściej stosują składniki naturalne, w postaci świeżej, suszonej lub ekstraktów np. owoce, warzywa, zioła, ekstrakty ze zbóż, pestek czy herbat. Ponadto, w wielu badaniach udowodniono, że wprowadzanie naturalnych dodatków funkcjonalnych do żywności, powoduje wiele dodatkowych korzyści, związanych m.in. z poprawieniem właściwości sensorycznych i cech fizycznych żywności oraz przedłużeniem trwałości [Hasler 2002].

Łuska cebuli jest źródłem związków polifenolowych, które wykazują szerokie działanie prozdrowotne, związane przede wszystkim z ich właściwościami antyoksydacyjnymi. Prowadzone dotychczas badania dotyczyły głównie wykazania możliwości aplikowania całej łuski cebuli do poprawiania właściwości prozdrowotnych żywności, a także opracowania metod izolacji poszczególnych antyoksydantów, głównie kwercetyny [Gawlik-Dziki i in. 2015, Świeca i in. 2013].

W badaniach Sayed i in. [2014] dodawano do makaronów sproszkowaną, wysuszoną łupinę cebuli w ilości 2, 4, 6% w stosunku do masy użytej mąki. Zauważono dodatnią korelację między zastosowaną dawką łuski cebuli, a potencjałem antyoksydacyjnym, zawartością błonnika oraz składników mineralnych. Dodatek do ciasta w ilości 6% spowodował prawie dwukrotny wzrost zawartości flavonoidów oraz błonnika. Z kolei w cyklu publikacji Gawlik-Dziki i in. [2013, 2015] badano wpływ fortyfikacji pieczywa łuską cebuli na jego właściwości biologiczne. Autorzy wykazali, że wzbogacenie pieczywa łuską cebuli (1, 2, 3, 4, 5% w stosunku do masy mąki) powodowało stopniowe zwiększenie potencjału antyoksydacyjnego

pieczywa oraz ekstraktów, otrzymanych po trawieniu i wchłanianiu w symulowanym układzie pokarmowym (*in vitro*). Jednak stwierdzili, że tylko około 4% kwercetyny z łuski cebuli było przyswajalne w warunkach *in vitro*. Dowiedli także, że pieczywo wzbogacone łuską cebuli wywierało działanie cytotoksyczne i antynwazyjny w stosunku do komórek raka żołądka AGE. Jednak efekt działania przeciwnowotworowego był uzależniony od ilości dodanej łuski cebuli.

Należy zwrócić uwagę, że kwercetyna i inne związki flawonoidowe zawarte w łusce cebuli nie są rozpuszczalne w wodzie lub wykazują w niej ograniczoną rozpuszczalność. Biorąc także pod uwagę fakt, że flawonoidy są nadal „uwięzione” w matrycy łuski cebuli, na którą składa się przede wszystkim błonnik pokarmowy (około 70% suchej masy) [Albishi i in. 2013], to wyekstrahowanie tych związków przez soki trawienne, a zarazem biodostępność flawonoidów po spożyciu produktu zawierającego całą łuskę cebuli może być utrudniona. Wobec tego, wydaje się, że alternatywnym dodatkiem do żywności mogą być ekstrakty lub izolaty poszczególnych związków, otrzymane za pomocą odpowiednich technik. Co więcej, aplikacja takich preparatów jest dużo łatwiejsza niż spreparowanych części rośliny, ponieważ możliwe jest kontrolowanie stężenia dodawanej substancji w produkcie i w efekcie uzyskanie oczekiwanych rezultatów.

Najważniejszym procesem technologicznym do pozyskiwania związków bioaktywnych z materiału roślinnego jest proces ekstrakcji w układzie ciecz - ciało-stałe (ługowanie). Wydajność i opłacalność produkcji jest ściśle uzależniona od parametrów ww. procesu, np. sposobu ekstrakcji, rodzaju i właściwości rozpuszczalnika, temperatury procesu, intensywności mieszania, rodzaju ekstrakcji: okresowej lub ciągłej o współprądowym lub przeciwprądowym ruchu faz. Ważne jest także czy ekstrakcję poprzedzą inne procesy, takie jak: selekcja materiału, suszenie, rozdrabnianie [Campone i in. 2018].

Biorąc pod uwagę fakt, że związki flawonoidowe łuski cebuli charakteryzują się słabą rozpuszczalnością w wodzie, do ich wydobycia konieczne jest użycie rozpuszczalnika o odpowiedniej polarności np. etanolu, metanolu lub acetonu [Jin i in. 2011] Ciągłe poszukuje się nowych rozwiązań technologicznych, które będą charakteryzowały się wysoką wydajnością, a także będą minimalizowały zużycie rozpuszczalników i energii.

Ekstrakcję flawonoidów można prowadzić z wykorzystaniem dodatkowych technik wspomagających proces zasadniczy, np. stosując ogrzewanie mikrofalowe oraz ultradźwięki. Mikrofałe szybko ogrzewają mieszaninę ekstrakcyjną, dzięki czemu dyfuzja składników do rozpuszczalnika zachodzi istotnie szybciej, a także z większą wydajnością. Z kolei ultradźwięki powodują szybsze wnikanie rozpuszczalnika do wnętrza matrycy [Campone i in. 2018, Kaufmann i Christen 2002]. Jin i in. [2011] prowadzili badania nad optymalizacją ekstrakcji kwercetyny z łuski cebuli z wykorzystaniem ultradźwięków oraz mikrofał, używając wodnych roztworów etanolu. Ustalili, że włączenie mikrofał oraz ultradźwięków do ekstrakcji kwercetyny z łuski cebuli istotnie skróciło całkowity czas procesu, a także zwiększyło odzysk kwercetyny, odpowiednio o ~ 10 % dla ekstrakcji ultradźwiękowej oraz ~ 38 % dla ekstrakcji mikrofalowej, w porównaniu do techniki konwencjonalnej.

W pracy Balawejder i Piechowiak [2018], a także Piechowiak i in. [2020] opracowano metodę pozyskania, a następnie zoptymalizowano proces ekstrakcji flawonoidów z łuski cebuli z wykorzystaniem metanolu jako rozpuszczalnika. Badania wykazały, że całkowita wydajność ekstrakcji antyoksydantów z łuski cebuli zależała od warunków właściwego procesu ekstrakcji tj.: temperatury, czasu procesu oraz stosunku wagowo-objętościowego łuska cebuli : metanol. Autorzy stwierdzili, że największą wydajność ekstrakcji uzyskuje się po 145 minutach prowadzenia procesu w temperaturze 44°C, stosując na 1 g łuski cebuli 30 mL metanolu. Otrzymany ekstrakt cechował się wysoką aktywnością antyoksydacyjną (441,4–593,9 mg g<sup>-1</sup>), która była funkcją wysokiego stężenia związków flawonoidowych, tj.



kwercetyny, kwercetyno-3-glukozydu, izoramnetyny oraz kemferolu. Co więcej, w pracy Piechowiak i Balawejder [2019] wykazano, że ekstrakt z łuski cebuli zmniejsza poziom stresu oksydacyjnego w komórkach drożdży *Saccharomyces cerevisiae* narażonych na prooksydacyjne działanie kadmu.

Prowadzono także badania nad określeniem optymalnych warunków odzyskiwania związków flawonoidowych z wykorzystaniem rozpuszczalników w stanie nadkrytycznym. Technika ekstrakcji nadkrytycznej posiada wiele zalet, do których należą m.in. stosowanie nietoksycznych dla środowiska rozpuszczalników, możliwość regulowania rozpuszczalności określonych składników w zależności od temperatury i ciśnienia oraz całkowita ewakuacja rozpuszczalnika i możliwość jego recyrkulacji [Milea i in. 2019]. Przykładowo, w badaniach Campone i in. [2018] sprawdzali wpływ ekstrakcji flawonoidów z łuski cebuli z wykorzystaniem ditlenku węgla w stanie nadkrytycznym oraz etanolu (jako składnika poprawiającego rozpuszczalność flawonoidów w ekstrakcji). W uzyskanym ekstrakcie zidentyfikowali kwas protokatechowy oraz 17 związków należących do grupy flawonoidów, głównie kwercetyny, izoramnetyny, kemferolu oraz ich pochodnych glikozydowych (tab. 2).

**Tabela 2 – Table 2**

Optymalne warunki ekstrakcji antyoksydantów z łuski cebuli prowadzonych różnymi metodami  
*Optimal conditions for the extraction of antioxidants from onion skins carried out by various methods*

Rodzaj ekstrakcji <i>Extraction type</i>	Optymalne warunki <i>Optimal conditions</i> temp. / temp; czas / time min.; ilość rozp. na 1 g łuski <i>solvent vol per 1g of onion skin:</i>	Wydajność kwercetyn w łusce / <i>Quercetin yield</i> of onion skin	AA* [mg·g <sup>-1</sup> ] ekstraktu / of extract
metanolowa, okresowa <i>periodic methanol</i> <sup>1</sup>	44°C; 145 min. 30 mL	18,64	401,52 (ABTS <sup>++</sup> )
etanolowa, okresowa <i>periodic ethanol</i> <sup>2</sup>	59,2°C; 16,5 min.; 40 mL; stęż. EtOH / conc.: 59,3% vol.	3,42	n. o. n.s.
etanolowa, okresowa + ultradźwięki / <i>periodic</i> <i>ethanol + ultrasounds</i> <sup>2</sup>	21,7 min.; 40 mL; stęż. EtOH / conc.: 43,8% vol., moc / power: 606.4 W	3,76	n. o. n.s.
etanolowa, okresowa + mikrofale <i>periodic ethanol +</i> <i>microwaves</i> <sup>2</sup>	117 s ; 40 mL stęż. EtOH / conc: 69,7% vol., moc: /power: 700 W	4,75	n. o. n.s.
w stanie nadkryt. / <i>in a</i> <i>supercritical state</i> CO <sub>2</sub> <sup>3</sup>	40°C; 120 min; ciśnienie / pressure: 100 bar; stęż. EtOH / conc.: 85% vol	5,28 pochodne kwercetyny <i>quercetin derivatives</i> 7,8	~ 500 (ABTS <sup>++</sup> )
w stanie nadkryt. / <i>in a</i> <i>supercritical state</i> H <sub>2</sub> O <sup>4</sup>	165 °C; 15 min.	16,29	n. o. n.s.

\* AA- aktywność antyoksydacyjna ekstraktu (ekwiwalent kwercetyny) / AA- extract antioxidant activity (quercetin equivalent), n.o. - nie określone / n.s. - not specified

<sup>1</sup>Piechowiak i in. [2020]; <sup>2</sup>Jin i in. [2011]; <sup>3</sup>Campone i in. [2018]; <sup>4</sup>Ko i in. [2011]

Ustalili wydajność wolnej kwercetyny na poziomie 5,75 mg·g<sup>-1</sup> łuski oraz potencjał antyoksydacyjny ekstraktu (metoda ABTS) wynoszący ok. 500 mg·g<sup>-1</sup>, wyrażony jako ekwiwalent kwercetyny. Z kolei Ko i in. [2011] prowadząc ekstrakcję flawonoli z użyciem wody w stanie nadkrytycznym zidentyfikowali 5 związków, których całkowity odzysk

z łuski cebuli wynosił dla kwercetyny 92%, kwercetyno-3-glukozydu 85%, kemferolu 77%, izoramnetyny 73% oraz rutyny 62%. Bez wątplenia ekstrakcja w stanie nadkrytycznym, jest jedną z najbardziej wydajnych technik ekstrakcji fitowiązków z łuski cebuli. Jednak jest to metoda droga, biorąc pod uwagę wysoki koszt jednostkowy urządzenia oraz energochłonność procesu wprowadzania rozpuszczalnika w stan nadkrytyczny. Produkty otrzymane z ekstraktów po odparowaniu rozpuszczalnika oraz wysuszeniu, a zawierające związki flawonoidowe lub izolaty poszczególnych flawonoidów mogą być dodawane do żywności na różne sposoby. Najczęściej, przez bezpośrednie wprowadzenie preparatu w postaci sypkiej, odtworzonej w rozpuszczalniku, lub w odpowiednio przygotowanych nośnikach, np. w mikrokapsułkach. Proces mikrokapsułkowania umożliwia zamknięcie pożądaných dodatków funkcjonalnych w otoczce wytworzonej z odpowiednio dobranej substancji, warunkującej właściwości substancji aktywnej np. polisacharydów, gum, odpowiednich białek, fosfolipidów, dzięki czemu możliwe jest kontrolowanie uwalniania substancji aktywnej, zwiększenie stabilności (np. termicznej, oksydacyjnej) lub rozpuszczalności [Das i in. 2019]. Milea i in. [2019] prowadzili prace badawcze nad wytworzeniem mikrokapsulek zawierających flawonoidy z łuski cebuli. Wykazali, że otoczki wytworzone z maltodekstryn, pektyn i hydrolizatu białka serwatkowego (stosunek maltodekstryn do pektyn, 1:1, 2:1, 1:1) istotnie wpływały na uwalnianie się substancji aktywnej w soku żołądkowym i jelitowym, w symulowanym układzie pokarmowym (*in vitro*). Stwierdzili, że biodostępność flawonoidów z otoczki zawierającej maltodekstrynę i pektynę w stosunku 1:1, nie zmieniała się w czasie trawienia (całkowity czas wynosił 120 min), z kolei w przypadku pozostałych wariantów zanotowali stopniowe uwalnianie się substancji podczas trawienia. Co więcej, autorzy zauważyli korzystny wpływ mikrokapsulek na wzrost bakterii kwasu mlekowego *Lactobacillus bifementans* (efekt prebiotyczny). Czaja i in. [2016] wytworzyli pieczywo pszenne wzbogacone mikrokapsułkami z maltodekstryny oraz inuliny zawierające ekstrakt z łuski cebuli. Zauważyli, że dodatek mikrokapsulek do pieczywa powodował wzrost ogólnej zawartości polifenoli w pieczywie, a także całkowitej aktywności przeciwutleniającej. Stwierdzili jednak, że fortyfikowane pieczywo charakteryzowało się istotnie mniejszą objętością niż próba kontrolna. Podobną zależność zauważono w pracy Piechowiak i in. [2020]. Autorzy badali wpływ fortyfikacji ciasta pszennego ekstraktem z cebuli na potencjał antyoksydacyjny uzyskanego pieczywa. Niezależnie od zastosowanej metody analitycznej, potencjał antyoksydacyjny pieczywa był ściśle skorelowany z dawką ekstraktu. Dodatek ekstraktu z łuski cebuli w ilości 0,5 g na 100 g mąki powodował ponad 4-krotny przyrost potencjału antyoksydacyjnego pieczywa.

Wzbogacanie żywności w naturalne ekstrakty zawierające polifenole było tematem wielu prac naukowych [Han i Koh 2011, Kumar i in. 2013, ]. Niejednokrotnie udowodniano ścisłą zależność między ilością zastosowanej dawki preparatu, a całkowitym potencjałem antyoksydacyjnym produktu. Ponadto stwierdzano, że suplementacja polifenolami poprawiała właściwości technologiczne produktów, np. dodatek kwasów fenolowych zwiększał wytrzymałość glutenu w trakcie mieszania ciasta pszennego [Han i Koh 2011], flawonoidy zwiększały stabilność oksydacyjną produktów wysokotłuszczowych oraz wyrobów mięsnych, a także kształtowały cechy sensoryczne produktów oraz ich teksturę [Kumar i in. 2013].

Należy zaznaczyć, że efekt wzbogacenia produktów flawonoidami w dużej mierze zależał od zastosowanych procesów przetwórczych, a także od składu chemicznego matrycy produktu. Szereg procesów i reakcji jakie mogą odbywać się w trakcie procesów izolacji flawonoidów oraz w procesach przetwórczych otrzymywania żywności

funkcjonalnej może silnie likwidować ich zawartość w ww. żywności lub ich właściwości przeciwutleniające. Wykazano, że silne ogrzewanie produktów w wodzie powoduje wypłukiwanie rozpuszczanych w wodzie antyoksydantów oraz szybkie wnikanie ciepła do wnętrza produktu, co w konsekwencji obniżało wartość biologiczną produktu. Smażenie w tłuszczu powoduje straty związków przeciwutleniających, co jest rezultatem reakcji flawonoidów z tworzącymi się wolnymi rodnikami. Podobny efekt jest także obserwowany podczas długotrwałego przechowywania produktów tłuszczowych wzbogaconych o naturalne flawonoidy. Ponadto, związki flawonoidowe są wysoce wrażliwe na działanie polifenolooksydazy. Należy także wspomnieć, że flawonoidy mogą wchodzić w interakcje z innymi składnikami żywności np. przez tworzenie kompleksów z jonami metali oraz białkami, co może także utrudniać biodostępność tych składników [Gawlik-Dziki 2013, Gumul i in. 2005]. Dlatego też, w trakcie projektowania żywności funkcjonalnej, wzbogaconej o związki antyoksydacyjne, szczególnie flawonoidy, nieodzowne stają się badania nad ww. doborem procesów oraz wpływem warunków prowadzenia procesów technologicznych na zachowanie wartości biologicznej, a także określenie biodostępności wprowadzanych składników.

## V. PODSUMOWANIE

Łuska cebuli jest odpadem, który powstaje podczas przetwarzania cebuli w przemyśle spożywczym oraz rolnictwie. Należy zaznaczyć, że jest to uciążliwy odpad organiczny, a więc wykorzystanie jej do produkcji preparatów funkcjonalnych jest zgodne z założeniami zrównoważonego rozwoju.

Łuska cebuli może być wykorzystana jako źródło związków flawonoidowych w produkcji żywności funkcjonalnej. Wobec tego związki te wyodrębnione z łuski za pomocą odpowiedniego procesu rozdzielania, np. ekstrakcji, a następnie wprowadzone do żywności mogą podnosić wartość biologiczną końcowego produktu żywnościowego, a po spożyciu chronić organizm przed poważnymi następstwami wywołanymi stresem oksydacyjnym.

## BIBLIOGRAFIA

1. Albishi T., John A., Al-Khalifa A., Shahidi F. 2013. Antioxidative phenolic constituents of skins of onion varieties and their activities. *Journal of Functional Foods*. 5. 1191-1203.
2. Alkhatib A., Tsang C., Tiss A., Bahorun T., Arefanian H., Barake R., Khadir A., Tuomilehto J. 2017. Functional foods and lifestyle approaches for diabetes prevention and management. *Nutrients*. 9 (12). 1310.
3. Apel K., Hirt H. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*. 55. 3730399.
4. Baławejder M., Piechowiak T. 2018. Sposób otrzymywania ekstraktu z łupin cebuli oraz ekstrakt z łupin cebuli otrzymany tym sposobem. Patent Application. P. 424683.
5. Benitez V., Molla E., Martin-Cabrejas M., Aguilera Y., Andreu F., Cools K., Terry L., Esteban R. 2011. Characterization of industrial onion wastes (*Allium cepa* L.): dietary fibre and bioactive compounds. *Plant Foods Human Nutrition*. 66. 48-57.
6. Boots A., Haenen G., Bast A. 2008. Health effects of quercetin: From antioxidant to nutraceutical. *European Journal of Pharmacology*. 585 (2-3). 325-337.
7. Campone L., Celano R., Piccinelli A., Pagano I., Carabetta S., Di Sanzo R., Russo M., Ibanez E., Cifuentes A., Rastrelli. 2018. Response surface methodology to optimize supercritical carbon/co-solvent extraction of brown onion skin by-product as source of nutraceutical compounds. *Food Chemistry*. 296. 495-502.

8. Czaja A., Gertchen M., Wyspiańska D., Czubaszek A. 2016. Wpływ dodatku mikrokapułowanych ekstraktów z łuski cebuli na wybrane właściwości pieczywa pszennego. *Nauki Inżynierskie i Technologie*. 1 (20). 10-19.
9. Czaplińska M., Czepas J., Gwoździński K. 2012. Budowa, właściwości przeciwutleniające i przeciwnowotworowe flawonoidów. *Postępy Biochemii*. 58 (3). 235-244.
10. Dach J., Niżewski P. 2008. Badania technologii kompostowania łuski cebulowej. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 53 (2). 88-92.
11. Das A., Goud V., Das C. 2019. Microencapsulation of anthocyanin extract from purple rice bran using modified rice starch and its effect on rice dough rheology. *International Journal of Biological Macromolecules*. 124. 573-581.
12. Deither B., Nott, K., Fauconnier M. 2013. (Bio)synthesis, extraction and purification of garlic derivatives showing therapeutic properties. *Comm. Appl. Biol. Sci.* 20 (10). 1-7.
13. Edwards RL., Lyon, T. Litwin S., Rabovsky A., Symons J., Jalili T. 2007. Quercetin reduces blood pressure in hypertensive subjects. *Journal of Nutrition*. 137 (11). 2405-11.
14. Eghbaliferiz S., Iranshahi M. 2016. Prooxidant activity of polyphenols, flavonoids, anthocyanins, and carotenoids: updated review of mechanism and catalyzing metals. *Phytother. Res.* 30 (9). 1379-91.
15. Fossen O., Andersen I. 2003. Anthocyanins from red onion, *Allium cepa*, with novel aglycone. *Phytochemistry*. 62 (8). 1217-1220.
16. Gawlik-Dziki U., Kaszuka K., Piwowarczyk K., Świeca M., Dziki D., Czyż J. 2015. Onion skin- Raw material for the production of supplement that enhances the health-beneficial properties of wheat bread. *Food Research International*. 73. 97-106.
17. Gawlik-Dziki U., Świeca M., Dziki D., Baraniak B., Tomiło J., Czyż J. 2013. Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion skin. *Food Chemistry*. 138. 1621-1628.
18. Griffiths G., Trueman L., Crowther B., Thomas B., Smith T. 2002. Onion- a global benefit to health. *Phytotherapy Research*. 16 (7).
19. Gumul D., Korus J. Achremowicz B. 2005. Wpływ procesów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą surowców pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*. 4(45). 41-48.
20. Han H., Koh B. 2011. Effect of phenolic acids on the rheological properties and proteins of hard wheat flour dough and bread. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 91(13). 2495-9. doi: 10.1002/jsfa.4499
21. Hashemzaei M., Far A., Yari A., Heravi R., Tebrizian K., Taghdisi S., Sadegh S., Tsarouhas K., Kouretas D., Tznakakis G., Niktovic D., Anisimov N., Spandidos D., Tsatsakis A., Rezaee R. 2017. Anticancer and apoptosis-inducing effects of quercetin in vitro and in vivo. *Oncology reports*. 38 (2). 819-828.
22. Hasler C. 2002. Functional foods: benefits, concerns and challenger – a position paper from the American Council on Science and Health. *The Journal of Nutrition*. 132 (12). 3772-3781.
23. Hugel HM., Jackson N., May B. 2016. Polyphenol protection and treatment of hypertension. *Phytotherapy Research*. 23. 220-231.
24. Jin E., Kim S., Lim S., Choi Y. 2011. Optimization of various extraction methods for quercetin from onion skin using response surface methodology. *Food Science and Biotechnology*. 20 (6). 1727-1733. doi: 10.1007/s10068-011-0238-8.

25. Kaufmann B., Christen P. 2002. Recent extraction techniques for natural products: Microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical Analysis*. 13 (2). 105-113.
26. Kerry N., Abbey M. 1997. Red wine and fractionated phenolic compounds prepared from red wine inhibit low density lipoprotein oxidation *in vitro*. *Atherosclerosis*. 135. 93-102.
27. Khan M., Orhan I, Enol S. 2009. Cholinesterase inhibitory activities of some flavonoid derivatives and chosen xanthone and their molecular docking studies. *Chem. Biol. Interact*. 181. 383-389.
28. Ko J., Cheigh C., Cho S., Chung M. 2011. Subcritical water extraction of flavonol quercetin from onion skin. *Journal of Food Engineering*. 102 (4). 327-333.
29. Kumar P., Kumar S., Tripathi M., Mehta N., Ranjan R., Bhat Z., Pramod K. 2013. Flavonoids in the development of functional meat products: A review. *Vet. World*. 6(8). 573-578.
30. Lee K., Park E., Lee H., Kim M., Cha Y., Kim J. Lee H. Shin M. 2011. Effects of daily quercetin-rich supplementation on cardiometabolic risks in male smokers. *Nutrition research and Practice*. 5 (1). 28-33.
31. Lemus-Alonso I., Morales B., Gutierrez D., Saenz L., Owen P., Varela F. 2019. Short communication: Onion skin waste-derived biocarbon as alternative non-noble metal electrocatalyst towards ORR in alkaline media. *International Journal of Hydrogen Energy*. 44 (24). 12409-124014.
32. Madeswaran A., Umamaheswari M., Asokkumar K. 2012. *In-silico* docking studies of cyclooxygenase inhibitory activity of commercially available flavonoids. *Asian J. Pharm. Life Sci*. 2. 174-181.
33. Martini D., Bo C., Porrini M., Ciappellano S., Risa P. 2017. Role of polyphenols and polyphenol-rich foods in the modulation of PON1 activity and expression. *The Journal of Nutritional Biochemistry*. 48. 1-8.
34. Milea S., Aprodu I., Vasile A., Barbu V., Rapeanu G., Bahrim G., Stanciuc N. 2019. Widen the functionality of flavonoids from yellow onion skins through extraction and microencapsulation in whey proteins hydrolysates and different polymers. *Journal of Food Engineering*. 251. 29-35.
35. Obidziński S., Joka M., Bieńczyk A., Jadwisieńczyk K. 2017. Tests of the post-production onion waste pelleting. *J. of Research and Application in Agricultural Eng*. 62 (2). 89-92.
36. Ohaneye I., Alamar M., Thompson A., Terry L. 2019. Fructans redistribution prior to sprouting in stored onion bulbs is a potential marker for dormancy break. *Postharvest Biology and Technology*. 149. 221-234.
37. Onal A. 1996. Extraction of dyestuff from onion (*Allium cepa L.*) and its application in the dyeing of wool feathered-leather and cotton. *Turkish Journal of Chemistry*. 20. 194-203.
38. Panche A., Diwan A., Chandra S. 2016. Flavonoids: an overview. *Journal of Nutritional Science*. 5 (47). 1-15).
39. Park J. Kim J. 2007. Onion flesh and onion peel enhance antioxidant status in aged rats, *Jorunal of Nutritional Science and Vitaminology*. 53. 21-27.
40. Pellejero G., Miglierina A., Aschakar G., Turcato M., Ballesta-Jimenez R. 2017. Effects of the onion residue compost as an organic fertilizer in a vegetanle culture in the Lower Valley of the Rio Negro. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*. 6 (2). 159-166.

41. Piechowiak T., Balawejder M. 2019. Onion skin extract as a protective agent against oxidative stress in *Saccharomyces cerevisiae* induced by cadmium. *Journal of Food Biochemistry*. 43 (7). 12872.
42. Piechowiak, T., Grzelak-Błaszczuk, K., Bonikowski, R., Balawejder M. 2020. Optimization of extraction process of antioxidant compounds from yellow onion skin and their use in functional bread production. *LWT. Food Science and Technology*. 117. 108614.
43. Piovesan V., Rodrigues N., Mello R., Prestes R., Santos R., Vaucher R., Kubota E. 2017. Extraction of phenolic compounds and evaluation of the antioxidant and antimicrobial capacity of red onion skin (*Allium cepa* L.). *Int. Food Res. J.* 24 (3). 990-999.
44. Ray P., Huang B., Tsuji Y. 2012. Reactive oxygen species (ROS) homeostasis and redox regulation in cellular signaling. *Cell Signal*. 24 (5). 981-990.
45. Sayed H., Nahla M., Hassan M., El khalek A. 2014. The effect of using onion skin powder as a source of dietary fiber and antioxidants on properties of dried and fried noodles. *Current Science International*. 3 (4). 468-475.
46. Shanmugan M., Muneeswaran M., Baskaran N. 2010. Chemopreventive efficacy of berberine in 7,12-dimethylbenz[a]anthracene (DMBA) induced skin carcinogenesis in Swiss albino mice. *Int. Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 1 (4). 521-529.
47. Shi G., Yang J., Liu J., Liu S., Song H., En Z., Liu Y. 2016. Isolation of flavonoids from onion skins and their effects on K562 cell viability. *Bangladesh Journal of Pharmacology*. 11 (S1). 18-24.
48. Slimestad R., Fossen T., Vagen I.M. 2007. Onions: A source of unique dietary flavonoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55 (25). 10067-10080.
49. Świeca M., Gawlik-Dziki U., Dziki D., Baraniak B., Czyż J. 2013. The influence of protein-flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of bread enriched with onion skin. *Food Chemistry*. 141. 451-458.
50. Umamaheswari M., Madeswaran A, Kuppusamy A. 2011. Discovery of potential xanthine oxidase inhibitors using *in silico* docking studies. *Der Pharma Chemica*. 3. 240-247.
51. Zubairu A., Mshelia Y. M. 2015. Effects of selected mordents on the application of natural dye from onion skin (*Allium cepa*). *Science and Technology*. 5(2). 26-32.

## PROCESSING WASTE FROM ONION PRODUCTION IN THE FUNCTIONAL FOOD

### *Summary*

*In the paper a review of the current state of research works described in the literature and related to use of onion skins in the production of so-called functional food, is presented. The review was started by discussing the impact of antioxidants on the functional properties and health benefits of food and their role in the prevention of civilization diseases. Onion skin is waste generated during onion processing in the food industry and agriculture. As it turns out, this material has a high content of antioxidant compounds, mainly flavonoids (2-10 g / kg of onion skins). In the review current methods of the separation antioxidants, including those used in our own work, from the abovementioned skin, are discussed.*

**Keywords:** onion, antioxidants, flavonoids, functional food