

Wpływ wybranych procesów kulinarnych na potencjał antyoksydacyjny i zawartość polifenoli w żywności

Influence of selected culinary processes on the antioxidant capacity and polyphenol content in food

DOROTA RÓŻAŃSKA^{1/}, BOŻENA REGULSKA-IŁOW^{1/}, RAFAŁ IŁOW^{2/}

^{1/} Zakład Dietetyki, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

^{2/} Katedra i Zakład Bromatologii i Dietetyki, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

Celem artykułu jest przedstawienie zagadnienia zmian zawartości polifenoli w przetwarzanej kulinarnie żywności i wpływu tych procesów na potencjał antyoksydacyjny produktów spożywczych na podstawie przeglądu piśmiennictwa. Polifenole oraz witaminy antyoksydacyjne zawarte w żywności wpływają na jej potencjał antyoksydacyjny, który stanowi dodatkową ochronę organizmu przed stresem oksydacyjnym. Te składniki diety są obecnie coraz częściej przedmiotem oceny w wielu badaniach o charakterze przekrojowym i epidemiologicznym. Wyniki badań przedstawione w przeglądzie piśmiennictwa wskazują, że procesy kulinarne miały zróżnicowany wpływ na zawartość polifenoli oraz potencjał antyoksydacyjny żywności, co było związane z rodzajem produktu spożywczego poddanego ogrzewaniu, rodzajem zastosowanego procesu, czasem jego trwania i zastosowaną temperaturą. Różne wyniki otrzymywane w cytowanych pracach świadczą o wielu reakcjach zachodzących między składnikami żywności pod wpływem wysokiej temperatury. W czasie tych procesów, mogą m.in. następować zmiany w strukturze danego związku lub zachodzić interakcje między różnymi składnikami żywności. Wyniki przedstawionych badań świadczą o korzystnym wpływie procesów kulinarnych na zawartość polifenoli w żywności oraz jej potencjał przeciwutleniający. Biorąc pod uwagę zróżnicowany wpływ procesów kulinarnych na zawartość polifenoli w żywności i jej potencjał antyoksydacyjny, wskazane jest uwzględnianie tego czynnika podczas oceny sposobu żywienia różnych populacji.

Słowa kluczowe: polifenole, potencjał antyoksydacyjny, warzywa, gotowanie, ogrzewanie mikrofalowe, smażenie

The aim of this paper was a review of the studies that show changes of the polyphenol content in culinary processed food and the influence of culinary treatment on the antioxidant capacity of food. Polyphenols and antioxidant vitamins contained in food affect its antioxidant capacity, which is an additional protection for human body against oxidative stress. These food compounds are nowadays often evaluated in a number of cross-sectional and epidemiological surveys. The results of the studies presented in this review show that culinary processes had different influence on the polyphenol content and antioxidant capacity of food. These changes were associated with a type of food product, a type of culinary process, its duration and temperature. Different results obtained in cited studies are the evidence of multiple reactions occurring between the food components during heating, e.g. changes in the structure of food compounds or interactions between them. The results of presented studies demonstrate beneficial effects of culinary processes on the polyphenol content in most foods and its antioxidant capacity. In view of a different impact of culinary treatment on the polyphenol content in foods and its antioxidant capacity it is advisable to take this factor into account when evaluating nutritional habits of different populations.

Key words: polyphenols, antioxidant capacity, vegetables, cooking, microwaving, frying

© Probl Hig Epidemiol 2014, 95(2): 215-222

www.phie.pl

Nadesłano: 28.03.2014

Zakwalifikowano do druku: 10.06.2014

Adres do korespondencji / Address for correspondence

mgr Dorota Różańska

Zakład Dietetyki, Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu

ul. Parkowa 34, 51-616 Wrocław

tel. 71 337 23 96, e-mail: dorota.rozanska@umed.wroc.pl

Wstęp

Wartość odżywcza żywności determinuje wiele czynników, takich jak: zawartość składników odżywczych, ich strawność i biodostępność, obecność składników biologicznie czynnych oraz antyodżywczych. Czynniki te zależne są od wielu zmiennych, m.in. od: warunków uprawy roślin i hodowli zwierząt, warunków klimatycznych, różnic odmianowych, a także od warunków przechowywania, utrwalania i przetwa-

rzania surowców [1]. Istotne znaczenie dla wartości odżywczej gotowych potraw mają procesy kulinarne, a zwłaszcza rodzaj zastosowanej obróbki kulinarnej i czas jej trwania.

Związki biologicznie czynne w żywności, takie jak polifenole, mają prozdrowotne działanie, głównie w prewencji chorób sercowo-naczyniowych [2, 3]. Wyniki niektórych badań świadczą również o ich roli w prewencji nowotworów [4] i chorób neurodegene-

racyjnych [5]. Obecność tych związków w żywności oraz witamin antyoksydacyjnych wpływa na potencjał antyoksydacyjny żywności, który stanowi dodatkową ochronę organizmu przed działaniem nadmiernej liczby wolnych rodników nagromadzonych w wyniku stresu oksydacyjnego. W tabeli I przedstawiono zawartość dominujących flawonoidów oraz witamin A, E i C w wybranych warzywach [6-8]. Zawartość polifenoli, głównie flawonoidów, w diecie oraz potencjał antyoksydacyjny diet jest obecnie częstym przedmiotem oceny w wielu badaniach o charakterze przekrojowym i epidemiologicznym [9-11]. Uzyskiwane wyniki świadczą o dużym zróżnicowaniu spożycia przeciwutleniaczy z dietą, co w dużej mierze jest uwarunkowane odmiennymi zwyczajami żywieniowymi w różnych populacjach.

Wpływ procesów kulinarnych na zawartość witamin w żywności, zwłaszcza rozpuszczalnych w wodzie, jest dość dobrze udokumentowany i jednoznaczny. Rodzaj obróbki kulinarnej, temperatura i czas trwania tego procesu, w różnym stopniu przyczyniają się do zmniejszenia zawartości witamin w żywności, głównie witaminy C i folianów [12]. Wyniki badań dotyczących trwałości polifenoli, do których należą: kwasy fenolowe, flawonoidy, stilbeny i lignany, w produktach spożywczych poddanych procesom kulinarnym i związana z nimi zmiana wartości potencjału antyoksydacyjnego żywności nie są natomiast jednoznaczne. Polifenole to bardzo różnorodna grupa związków, które wykazują odmienną aktywność przeciwutleniającą, zależną od ich struktury, masy cząsteczkowej i stężenia. Aktywność antyoksydacyjna flawonoidów zależy od lokalizacji podstawników przy trzech pierścieniach

tworzących charakterystyczny układ C6-C3-C6, a także obecności wiązania podwójnego między węglami C₂ i C₃, grupy hydroksylowej w pierścieniu C w pozycji C₄ i struktury 4-okso. Istotne jest również, czy flawonoidy występują w formie glikozydów czy aglikonów. Ponadto, dzięki swojej budowie, flawonoidy są rozpuszczalne zarówno w wodzie, jak i w tłuszczach. Aktywność przeciwutleniająca kwasów fenolowych jest natomiast zależna od obecności w cząsteczce grup hydroksylowych w konfiguracji -orto [13].

Procesy kulinarne w zależności od rodzaju produktu poddanego obróbce termicznej mogą wpływać zarówno na zmniejszenie, jak i zwiększenie zawartości polifenoli, flawonoidów i potencjału antyoksydacyjnego żywności. Odmiennie wyniki mogą świadczyć o wielu reakcjach zachodzących między składnikami żywności podczas oddziaływania wysokiej temperatury i zastosowania różnego medium grzewczego. Na zmiany potencjału antyoksydacyjnego w czasie obróbki termicznej mają wpływ straty witamin antyoksydacyjnych w żywności (zwłaszcza witaminy C bardzo wrażliwej na działanie wysokiej temperatury) oraz powstawanie nowych związków o właściwościach przeciwutleniających lub proutleniających. Zmniejszenie potencjału antyoksydacyjnego może być związane m.in. z procesami utleniania zachodzącymi w czasie procesów kulinarnych, a także tworzeniem kompleksów z innymi składnikami żywności. Z drugiej strony istotne jest także przejście form glikozydowych przeciwutleniaczy do cząsteczek bardziej aktywnych – aglikonów [14].

Dodatkową trudnością w porównywaniu wyników badań jest różnorodność metod służących do

Tabela I. Zawartość dominujących antyoksydantów w 100 g wybranych produktów
Table I. Content of dominating antioxidants in 100 g of selected products

Produkt	Dominujące flawonoidy (w 100g produktu surowego) [6, 7]	Wit. A (µg)* [8]	Wit. E (mg) [8]	Wit. C (mg) [8]
Bób	(-)-epikatechina 28,96 mg, (-)-epigalokatechina 15,47 mg	28,0	0,46	32,0
Brokuły	kaempferol 7,84 mg, kwercetyna 3,26 mg	153,0	1,30	83,0
Brukselka	naringenina 3,29 mg, kwercetyna 1,92 mg	74,0	0,88	94,0
Buraki	luteolina 0,37 mg, kwercetyna 0,13 mg	2,0	0,03	10,0
Cebula	kwercetyna 20,30 mg, izoramnetyna 5,01 mg	2,0	0,12	6,0
Czosnek	kwercetyna 1,74 mg, mirycetyna 1,61 mg	0,0	0,01	31,0
Groch, nasiona suche	daidzeina 0,33 mg, genisteina 0,11 mg	20,0	0,30	2,0
Groszek zielony	(-)-epikatechina 0,01 mg, (+)-katechina 0,01 mg	68,0	0,39	34,2
Kalafior	kwercetyna 0,54 mg, kaempferol 0,36 mg	2,0	0,12	69,0
Kapusta biała	kwercetyna 0,28 mg, kaempferol 0,18 mg	9,0	1,67	48,0
Kapusta czerwona	cyjanidyna 209,83 mg, kwercetyna 0,36 mg	3,0	1,70	54,0
Kapusta włoska	kaempferol 0,79 mg, apigenina 0,69 mg	7,0	2,00	60,0
Marchew	kaempferol 0,24 mg, kwercetyna 0,21 mg	1656,0	0,51	3,4
Papryka czerwona	luteolina 0,61 mg, kwercetyna 0,23 mg	528,0	2,90	144,0
Pomidory	naringenina 0,68 mg, kwercetyna 0,58 mg	107,0	1,22	23,0
Por	kaempferol 2,67 mg, mirycetyna 0,22 mg	148,0	0,52	20,2
Soja, nasiona suche	genisteina 80,99 mg, daidzeina 62,07 mg	2,0	0,78	0,0
Sok pomidorowy	kwercetyna 1,19 mg, kaempferol 0,06 mg	99,0	1,13	16,5
Szpinak	kaempferol 6,38 mg, kwercetyna 3,97 mg	707,0	1,88	67,8
Ziemniaki	kaempferol 0,80 mg, kwercetyna 0,70 mg	1,0	0,05	14,0

* Witamina A – ekwiwalent retinolu

oceny potencjału antyoksydacyjnego żywności, które uwzględniają odmienne właściwości przeciwutlenia-czy. Wśród metod, w których atom wodoru przeno-szony jest z przeciwutleniacza na utleniacz (HAT – *Hydrogen Atom Transfer*) wyróżnia się m.in.: ORAC (*Oxygen Radical Absorbance Capacity*), TRAP (*Total Radical-Trapping Antioxidant Parameter*) oraz TOSC (*Total Oxidant Scavenging Capacity*). Do drugiej grupy metod, opierających się na przeniesieniu pojedynczych elektronów z przeciwutleniacza na utleniacz (SET – *Single Electron Transfer*) należą m.in.: FRAP (*Ferric Ion Reducing Antioxidant Power*), TEAC (*Trolox Equivalence Antioxidant Capacity*) oraz metody z zastosowaniem odczynników DDPH i *Folina-Ciocalteu* [15].

Celem artykułu jest przedstawienie zagadnienia zmian zawartości polifenoli w przetwarzanej kulinarnie żywności i wpływu tych procesów na potencjał antyoksydacyjny produktów spożywczych na podstawie przeglądu piśmiennictwa.

Gotowanie

W pracach licznych autorów stwierdzono, że procesy kulinarne wpływają na zmiany zawartości związków bioaktywnych w żywności oraz ich aktywność przeciwutleniającą [16, 17, 18]. Wyniki badań nie są jednak jednoznaczne. Część autorów wykazuje pozytywny wpływ obróbki termicznej na zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjną, a niektóre rezultaty świadczą o zmniejszeniu tych wartości. Drużyńska i wsp. [17] podaje, iż gotowane brokuły zawierały więcej polifenoli ogółem (1,71 mg/100 g s.m.) i katechin (1,24 mg/100 g s.m.) w porównaniu z produktem surowym (odpowiednio 1,29 mg/100 g s.m. i 0,82 mg/100 g s.m.). Wyższą zawartością tych związków charakteryzowały się także brokuły gotowane po wcześniejszym mrożeniu. Obróbka termiczna miała natomiast nieznaczny wpływ na potencjał antyoksydacyjny ekstraktów z surowych, gotowanych i gotowanych po mrożeniu brokułów wobec rodników DPPH, która wynosiła odpowiednio 85,1%, 87,1% i 85,7%. Aktywność przeciwrodnikowa wobec kationorodnika ABTS wynosiła natomiast odpowiednio 18,1%, 11,4% i 16,4% [17]. W badaniu Porter [19] potencjał antyoksydacyjny brokułów poddanych gotowaniu był zależy od ich odmiany. Po 5 min. ogrzewania potencjał antyoksydacyjny zielonych brokułów istotnie wzrósł w porównaniu z surowcem, a następnie po 10 i 20 min. istotnie się zmniejszył. Gotowanie brokułów fioletowych przyczyniło się do znacznego, bo 52% zmniejszenia potencjału antyoksydacyjnego już po 5 min. Dłuższe ogrzewanie powodowało dalszą redukcję zdolności antyoksydacyjnej produktu.

Zwiększenie zawartości wolnych związków fenolowych w kukurydzy podczas gotowania zaobserwowali Dewanto i wsp. [20]. W wyniku jej ogrzewania

w temperaturze 115°C przez 10, 25 i 50 min. nastąpiło zwiększenie koncentracji wolnych związków fenolowych o 24%, 32% i 36% w porównaniu z surowym produktem. Ich zawartość była zależna także od temperatury. Pod wpływem ogrzewania w temperaturze 100°C, 115°C i 121°C przez 25 min. koncentracja związków fenolowych była wyższa o 16%, 32% i 48% w porównaniu z surowcem. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku związanych związków fenolowych, których ilość wraz ze wzrostem temperatury i czasu ogrzewania uległa zmniejszeniu [20].

Wzrost potencjału antyoksydacyjnego soku pomidorowego w wyniku gotowania tradycyjnego zaobserwowała Kurzeja i wsp. [18]. Po 30 min. ogrzewania, w zależności od gatunku pomidorów z jakich zrobiony był sok, jego potencjał antyoksydacyjny zwiększył się dwu- a nawet trzykrotnie. Podobnie w zielonych pomidorach, proces ogrzewania spowodował wzrost potencjału antyoksydacyjnego do wartości, które umożliwiły w ogóle jego pomiar. Tylko w przypadku pomidorów koktajlowych wzrost potencjału przeciwutleniającego był nieznaczny [18]. Wzrost zdolności antyoksydacyjnej zaobserwowano także w czasie gotowania zupy pomidorowej, co było związane ze zwiększeniem koncentracji polifenoli w produkcie [21].

W innym badaniu [22] oceniono zawartość polifenoli w rabarbarze, który został poddany różnym wariantom obróbki termicznej. Zarówno powolne, jak i szybkie gotowanie spowodowało wzrost poziomu polifenoli w porównaniu z surowcem. Zawartość polifenoli ulegała jednak wahaniom w zależności od czasu trwania procesu. Z kolei pod wpływem blanszowania obserwowano wzrost ich zawartości po pierwszych 10 min. procesu, a następnie zmniejszenie ich zawartości. Aktywność przeciwutleniająca mierzona metodą FRAP również była większa dla próbek gotowanych, a mniejsza dla blanszowanych w porównaniu z rabarbarem surowym. Wraz z upływem czasu obróbki termicznej obserwowano zmianę proporcji między polifenolami a antocyjanami, co świadczy o różnym wpływie temperatury na te związki [22]. Rodzaj obróbki kulinarnej miał także wpływ na zmiany potencjału antyoksydacyjnego w ziemniakach. W wyniku gotowania na parze obserwowano wzrost aktywności przeciwutleniającej, a pod wpływem gotowania tradycyjnego nie stwierdzono jej zmian w porównaniu z surowym ziemniakiem [23]. Tudela i wsp. [24] podają natomiast, iż gotowanie i gotowanie na parze w takim samym stopniu wpływa na zmniejszenie (z 7,1 do 4,0 mg/100 g) zawartości flawonoidów w ziemniakach.

Wachtel-Galor i wsp. [25] wykazali, że moc antyoksydacyjna mierzona metodą FRAP wzrasta podczas gotowania w wodzie (przez 5 min.) oraz gotowania na parze (przez 5 min.) w przypadku kalafiora (odpowiednio ok. 2,5 i 3 razy) i brokułów (odpowiednio o ok.

1,8 i 3 razy). Po 10 min. obróbki kulinarnej aktywność antyoksydacyjna uległa zmniejszeniu w porównaniu ze zmierzoną po 5 min., ale nadal była ona wyższa niż w przypadku warzyw surowych. Gotowanie kapusty w wodzie spowodowało zmniejszenie jej zdolności przeciwutleniającej o ok. 27% po 5 min. i 64% po 10 min. Gotowanie na parze spowodowało natomiast niewielki wzrost potencjału antyoksydacyjnego kapusty. Według Wachtel-Galor i wsp. [25] gotowanie tradycyjne przyczyniło się do większych strat polifenoli niż gotowanie na parze. W wyniku gotowania nastąpiło ok. 60% strat polifenoli w brokułach i kapuście, ale tylko 4% w kalafiorze. Gotowanie na parze przyczyniło się w przypadku kalafiora do 45% wzrostu zawartości polifenoli [25]. Również według Miglio i wsp. [26] gotowanie na parze jest lepszą metodą kulinarną, ponieważ tradycyjne gotowanie marchwi, cukinii i brokułów spowodowało zmniejszenie zawartości polifenoli o 100%, 70% i 73%, natomiast straty w wyniku gotowania na parze wyniosły odpowiednio 43%, 40% i 38%. Podobne rezultaty uzyskali Podsędek i wsp. [27]. W wyniku gotowania przez 20 min., z zastosowaniem wody w stosunku do warzyw w ilości 2:1, koncentracja związków fenolowych w zależności od odmiany czerwonej kapusty uległa zmniejszeniu o ok. 54% i 60%. Straty w wyniku gotowania przez 10 min., z zastosowaniem wody w stosunku do warzyw w ilości 1:1 były mniejsze i wynosiły odpowiednio 33% i 43%. Gotowanie na parze pierwszej z odmian kapusty przez 20 min. spowodowało straty polifenoli o ok. 9%, a drugiej o ok. 18%. Po 5-minutowym gotowaniu na parze zawartość polifenoli wynosiła odpowiednio 102% i 90% w porównaniu do surowych produktów [27].

Turkmen i wsp. [28] również zauważyli, że zmiany zawartości związków fenolowych podczas obróbki termicznej są różne dla różnych warzyw. Zawartość związków fenolowych po gotowaniu w wodzie i na parze w porównaniu z warzywami świeżymi wynosiła odpowiednio 114% i 102% (papryka), 114% i 130% (zielona fasolka), 101% i 103% (szpinak), 94% i 118% (brokuły), 76% i 88% (groszek), 64% i 85% (por) oraz 60% i 70% (kabaczek). Obie metody spowodowały wzrost aktywności przeciwutleniającej większości badanych warzyw (papryki, kabaczka, zielonej fasolki, brokułów i szpinaku), która w porównaniu z surowcem wynosiła od 116% do 185%. W przypadku tradycyjnie ugotowanego groszku i pora wynosiła 84% i 80%, a ugotowanych na parze odpowiednio 95% i 121% [28].

Straty związków fenolowych pod wpływem obróbki termicznej zaobserwowali Zhang i Hamazu [29] oraz Borowski i wsp. [16]. Całkowita zawartość polifenoli w 100 g kwiatów brokułu wynosiła 34,5 mg, po 30 sek. gotowania 23,6 mg, a po 5 min. tylko 9,7 mg. Zmniejszeniu uległa także aktywność antyoksydacyjna brokułów (dla kwiatów z 60,5 do 21,2% po 5 min.,

dla łodygi z 62,8 do 21,8% po 5 min.) [29]. Brokuły gotowane metodą tradycyjną przez 15 min. zawierały ok. 12 razy mniej polifenoli w porównaniu z surowcem oraz posiadały kilkakrotnie mniejszą zdolność do zmiatania rodnika DPPH. Różne warianty gotowania na parze nie wpłynęły istotnie na koncentrację polifenoli w brokułach z wyjątkiem zastosowania przez 5 min. przegrzanej pary wodnej o temp. 125°C, co spowodowało ich istotne straty [16].

Różny wpływ obróbki kulinarnej na koncentrację polifenoli w warzywach zaobserwowali także Puupponen-Pimiä i wsp. [30]. Blanszowanie nie wpłynęło znacząco na zawartość polifenoli w grochu, marchwi i ziemniakach, ale spowodowało ich straty w kalafiorze, brukwi i szpinaku, a wzrost zawartości w kapuście [30]. Ismail i wsp. [31] wykazali, że blanszowanie przez 1 minutę warzyw nie wpływa istotnie na ich aktywność antyoksydacyjną. Średnia zdolność przeciwutleniająca surowych warzyw wynosiła 69,1% (szalotka), 66,4% (szpinak), 59,3% (kapusta) i 50,2% (kapusta włoska), a blanszowanych odpowiednio 68,5%, 61,9%, 53,4% i 45,9%. Istotne różnice zauważalne były w zawartości związków fenolowych. Straty w wyniku blanszowania wyniosły 20% dla kapusty, 14% dla szpinaku, 13% dla szalotki i 12% dla kapusty włoskiej [31]. Amin i Lee [32] podają, że w zależności od odmiany kapusty zawartość polifenoli po 5 min. blanszowania uległa zmniejszeniu od 4,6 do 57,5%, a po 15 min. od 36,8 do 81,7%. Tylko w jednej z odmian po 5 min. blanszowania nastąpiło zmniejszenie koncentracji polifenoli o 52,5%, a po 15 min. zwiększenie o 22,8% w stosunku do świeżego produktu. W wyniku blanszowania zmniejszyła się także aktywność antyoksydacyjna każdej z badanych odmian kapusty [32].

Zarówno gotowanie, jak i gotowanie pod zwiększonym ciśnieniem nie wpłynęło na zdolność do redukcji wolnych rodników ABTS w przypadku wielu warzyw, jak np.: karczoch, szparagi, bób, bakłażan, buraki, brokuły, brukselka, kalafior, cebula i papryka [33]. Oba procesy zmniejszyły potencjał antyoksydacyjny czosnku i cukinii, natomiast w przypadku pora, boćwiny i kukuzydzy różnice były istotne tylko podczas gotowania pod ciśnieniem. Odwrotną zależność zaobserwowano podczas obróbki termicznej szpinaku. Marchewka i seler po gotowaniu w wodzie i pod ciśnieniem charakteryzowały się większą zdolnością do zmiatania wolnych rodników niż warzywa surowe. W przypadku zielonego groszku zależność taką zaobserwowano tylko po gotowaniu pod ciśnieniem [33].

Według Wolosiak i wsp. [34] oraz Xu i Chang [35] obróbka kulinarna powodowała zmniejszenie zawartości związków fenolowych także w nasionach roślin strączkowych. Gotowanie na parze świeżego bobu spowodowało 16% strat polifenoli, a gotowanie na parze po wcześniejszym mrożeniu (w zależności od

warunków mrożenia) od 35 do 40,5% w stosunku do surowca. W wyniku tego procesu o 11% zmniejszyła się także aktywność wobec rodnika ABTS zmierzona w ekstrakcie acetonowym oraz o 30% wobec rodnika DPPH. W ekstrakcie wodnym zaobserwowano natomiast wzrost aktywności przeciwutleniającej odpowiednio o 6% i 33% [34]. Spośród zielonego i żółtego groszku, ciecierzycy oraz soczewicy najbardziej wrażliwa na przetwarzanie okazała się soczewica, a najmniej ciecierzycza [35]. W wyniku procesu moczenia nastąpiły straty polifenoli w soczewicy o 9,5-37,8%, a w pozostałych strączkowych o 2,2-11,6%. Gotowanie soczewicy spowodowało 50,1-67,9% strat związków fenolowych, zielonego groszku 45,9-50,8%, żółtego groszku 43,5-46,4%, a ciecierzycy 29,2-37,5%. W wyniku gotowania na parze straty w przypadku soczewicy były porównywalne do gotowania w wodzie i wyniosły 52,4-60,8%, natomiast dla pozostałych strączkowych były zdecydowanie mniejsze i wyniosły odpowiednio 13,9-27,9%, 9,4-30,4% i 2,8-7,6%. Zarówno gotowanie w wodzie, jak i na parze spowodowało znaczne obniżenie zdolności antyoksydacyjnej wobec wolnych rodników DPPH. Zmniejszenie aktywności przeciwrodnikowej pod wpływem gotowania soczewicy wyniosło 8,4-29,5%, zielonego groszku 58,5-69,3%, żółtego groszku 52,9-58,2%, a ciecierzycy 85,0-96,6%. Zmniejszenie zdolności przeciwrodnikowej pod wpływem gotowania na parze w zależności od warunków prowadzonego procesu dla poszczególnych strączkowych wyniosło odpowiednio 13,9-26,3%, 51,6-66,7%, 48,9-67,4%, 33,6-83,3% [35]. Han i Baik [36] podają natomiast, że straty związków fenolowych od 16 do 41% następowały w czasie gotowania soczewicy, ciecierzycy oraz grochu, a w przypadku soi ich zawartość wzrastała. Aktywność antyoksydacyjna strączkowych zmniejszała się w wyniku obróbki termicznej.

Ciekawe wyniki uzyskały Tynek i Papiernik [37], które poddały analizie sok z kapusty surowej i kwaszonej. W wyniku ogrzewania przez 6 godzin soku z kapusty surowej następował stopniowy wzrost zawartości związków fenolowych z 0,3 do 1,2 mg/ml, a w przypadku soku z kapusty kwaszonej następowało ich stopniowe zmniejszenie z 0,6 do 0,14 mg/ml. Podobną zależność zaobserwowały w odniesieniu do aktywności antyoksydacyjnej. Pod wpływem ogrzewania soku z surowej kapusty aktywność przeciwutleniająca wzrosła, a soku z kapusty kwaszonej zmalała [37]. Kudelski i wsp. [38] poddali gotowaniu przez 20, 40 i 60 min. soki z kapusty pekińskiej, głowiastej i czerwonej. Zaobserwowano, że proces obróbki termicznej soków zawsze przyczyniał się do spadku zawartości flawonoidów. Wpływ gotowania na zawartość polifenoli był natomiast zróżnicowany i zależał od czasu trwania procesu. W przypadku kapusty pekińskiej po 20 min. gotowania nastąpił wzrost zawartości polifenoli w porównaniu z sokiem surowym, a następnie zmniejszenie do wartości porównywalnej z sokiem surowym.

Najmniejsze stężenie polifenoli w soku z kapusty głowiastej stwierdzono po 40 min. gotowania, natomiast po 60 min. zawartość polifenoli wzrosła i była zbliżona do soku surowego. W soku z kapusty czerwonej wahania zawartości polifenoli były najmniejsze w porównaniu z sokami z kapusty pekińskiej i głowiastej [38].

Smażenie i pieczenie

W wyniku smażenia następuje wiele zmian zarówno w produkcie, jak i w tłuszczu zastosowanym do smażenia, co poza oddziaływaniem wysokiej temperatury jest spowodowane między innymi odparowaniem wody z żywności i wchłanianiem do niego tłuszczu [39]. Straty związków fenolowych w czasie smażenia cukinii, brokułów i marchwi wyniosły w stosunku do surowca odpowiednio 63%, 60% i 31% [26]. Smażenie ziemniaków przyczyniło się do zmniejszenia potencjału antyoksydacyjnego wobec rodników ABTS o 29% w porównaniu z surowym produktem [23]. Wyniki te potwierdzają dane uzyskane przez Tudela i wsp. [24], którzy podają, iż smażenie spowodowało zmniejszenie zawartości flawonoidów z 7,1 (w surowym ziemniaku) do 3,3 mg/100g produktu.

Jiménez-Monreal i wsp. [33] stwierdzili różny wpływ smażenia na zdolność zmiatania wolnych rodników ABTS w zależności od rodzaju warzywa poddanego obróbce termicznej. Smażone szparagi, kalafior, czosnek, papryka i boćwina charakteryzowały się niższym potencjałem antyoksydacyjnym niż warzywa surowe, natomiast w przypadku marchewki, selera i zielonej fasolki zaobserwowano zależność odwrotną. Warto podkreślić, że wzrost zdolności antyoksydacyjnej marchwi po procesie smażenia był prawie 3-krotnie większy niż po procesie gotowania, a selera ponad 4-krotnie. Pieczona marchewka, seler i zielona fasolka także charakteryzowały się wyższym potencjałem antyoksydacyjnym niż warzywa surowe. Zdolność przeciwutleniająca wobec wolnych rodników ABTS pieczonej marchewki była ok. dwukrotnie większa niż gotowanej, a pieczonego selera 4-krotnie. Zmniejszenie potencjału antyoksydacyjnego pieczonego czosnku było porównywalne do obserwowanego podczas gotowania i smażenia. Wartość potencjału przeciwutleniającego niektórych warzyw nie uległa istotnej zmianie w wyniku smażenia i pieczenia [33].

Zaobserwowano, iż wraz ze wzrostem czasu pieczenia pomidorów następował wzrost zawartości polifenoli w produkcie oraz aktywności przeciwutleniającej mierzonej metodą FRAP [21]. McDougall i wsp. [22] ocenili natomiast, iż zdolność antyoksydacyjna rabarbaru wzrastała w pierwszym okresie pieczenia (20 min), natomiast później malała.

Ogrzewanie mikrofalowe

Podobnie jak wcześniej omawiane procesy kulinarne, gotowanie mikrofalowe powoduje zmiany

w zawartości polifenoli i aktywności antyoksydacyjnej żywności. Jak podaje Zhang i Hamauzu [29] wraz ze wzrostem czasu ogrzewania brokułów następowało zmniejszenie zawartości związków polifenolowych, przy czym zmiany te były porównywalne z zachodzącymi w czasie gotowania tradycyjnego. W podobnym stopniu zmniejszała się również ich aktywność przeciwutleniająca. Wachtel-Galor i wsp. [25] również obserwowali straty związków fenolowych w czasie mikrofalowego ogrzewania brokułów i kapusty, które były zbliżone do obserwowanych w czasie gotowania tradycyjnego. Kalafior i brokuły gotowane w mikrofalówce charakteryzowały się wyższą mocą antyoksydacyjną niż warzywa surowe, ale różnice były mniejsze niż podczas gotowania tradycyjnego i na parze. W przypadku kapusty gotowanej w mikrofalówce stwierdzono natomiast większe straty potencjału antyoksydacyjnego w porównaniu z warzywem surowym, niż podczas gotowania tradycyjnego i na parze. Według badania Synowiec-Wojtarowicz i wsp. [40] gotowanie w mikrofalówce spowodowało wzrost zawartości flawonoidów w sokach z różnych odmian jabłek, przy czym był on większy niż w wyniku gotowania tradycyjnego. Wzrost stężenia polifenoli w wyniku gotowania w kuchence mikrofalowej zaobserwowano tylko w przypadku soku z jednej odmiany jabłek, a zawartość polifenoli w sokach z pozostałych trzech odmian jabłek nie różniła się od soku świeżego. Gotowanie tradycyjne (przez 20 min.) przyczyniło się natomiast do zwiększenia zawartości polifenoli w każdym z soków [40].

W innym badaniu stwierdzono, że mikrofalowe gotowanie zielonych brokułów przez 1 i 2 min. spowodowało istotny wzrost ich potencjału antyoksydacyjnego w porównaniu z warzywem surowym [19]. Mikrofalowe gotowanie fioletowych brokułów przyczyniło się natomiast do spadku ich zdolności antyoksydacyjnej, który był tym większy i dłużej trwał proces obróbki termicznej. Turkmen i wsp. [28] obserwowali, że zmiany zawartości polifenoli w wyniku ogrzewania mikrofalowego były różne w zależności od produktu. Całkowita zawartość związków fenolowych po obróbce kulinarnej papryki, zielonej fasolki, brokułu i szpinaku wynosiła odpowiednio 126%, 129%, 125% i 109% w stosunku do świeżych warzyw, a w przypadku dyni, grochu i pora: 67%, 83% i 82%. Aktywność antyoksydacyjna wobec wolnych rodników DPPH, wszystkich warzyw poza grochem wzrosła (od 106% do 188%) [28]. W innych badaniach oceniono, iż w wyniku gotowania w mikrofalówce ziemniaków następuje zmniejszenie aktywności antyoksydacyjnej o 11% [23].

Zaobserwowano, że gotowanie w mikrofalówce przyczyniło się do wzrostu zdolności przeciwutleniającej marchwi i selera w porównaniu z warzywami surowymi [33]. Wzrost potencjału antyoksydacyjnego w porównaniu z gotowaniem tradycyjnym był odpo-

wiednio ok. 2 razy i 4,5 razy wyższy. Zielona fasolka po gotowaniu w mikrofalówce charakteryzowała się wyższym potencjałem przeciwutleniającym niż surowa i porównywalnym z potencjałem przeciwutleniającym zielonej fasolki pieczonej i smażonej. Obróbka termiczna kukurydzy i grochu w mikrofalówce osłabiła ich zdolność do zmiatania wolnych rodników [33].

Danesi i Bordoni [41] podają natomiast, że na aktywność przeciwutleniającą, obok rodzaju produktu poddanego obróbce kulinarnej, wpływa także czy jest to produkt świeży czy zamrożony. W przypadku mikrofalowego ogrzewania świeżej marchwi, pomidorów i zielonej fasolki oznaczono wyższy potencjał antyoksydacyjny w porównaniu z warzywami wcześniej zamrożonymi. Odwrotną sytuację obserwowano dla cukinii i groszku. Aktywność antyoksydacyjna gotowanej w kuchence mikrofalowej żółtej papryki świeżej i mrożonej była porównywalna [41].

Fermentacja

W badaniach naukowych poddawano ocenie także wpływ fermentacji na aktywność przeciwutleniającą żywności. W wyniku fermentacji grochu z udziałem *Rhizopus oligosporus* zaobserwowano wzrost całkowitej zawartości polifenoli zarówno w wodnych, jak i acetonowych ekstraktach [42]. W pierwszej dobie procesu aktywność antyoksydacyjna acetonowych ekstraktów polifenoli fermentowanego grochu wobec rodników DPPH wzrosła o 9,4%, a wobec ABTS zmalała o 1,1%. Aktywność antyoksydacyjna ekstraktów wodnych obniżyła się natomiast odpowiednio o 1,8% i 12,3%. W następnych dobach fermentacji odnotowano liniowy wzrost aktywności przeciwutleniającej ekstraktów acetonowych i wodnych, zarówno wobec DPPH, jak i ABTS [42]. Inni autorzy [43] nie zaobserwowali natomiast istotnego wpływu procesu fermentacji na zmiany zawartości polifenoli w nasionach fasoli oraz na ich zdolność przeciwutleniającą, w porównaniu do nasion suchych. Đorđević i wsp. [44] wykazali odmienny wpływ fermentacji z wykorzystaniem bakterii kwasu mlekowego *Lactobacillus rhamnosus* i drożdży *Saccharomyces cerevisiae* na całkowitą zawartość związków fenolowych w zbożach takich jak: gryka, jęczmień, pszenica i żyto, wyrażoną jako miligramy równoważników kwasu galusowego na gram suchego ekstraktu. W każdym przypadku fermentacja pod wpływem *S. cerevisiae* przyczyniała się do większego wzrostu zawartości związków fenolowych w zbożach niż *L. rhamnosus*, w porównaniu do surowca. W innym badaniu [45], gdzie poddano spontanicznej fermentacji sok z białej kapusty, po 7 dniach procesu zaobserwowano znaczący wzrost potencjału antyoksydacyjnego wobec rodników ABTS i DPPH. Najwyższą aktywność przeciwutleniającą odnotowano w 10 dniu procesu, która utrzymywała się w kolejnych dobach

na zbliżonym poziomie. Sok z kwaszonej kapusty otrzymany po 14 dniach charakteryzował się ok. 3-krotnie wyższym potencjałem wobec ABTS i ok. 7-krotnie wyższym wobec DPPH, w porównaniu z sokiem ze świeżej kapusty. Zaobserwowano także istotny wzrost potencjału antyoksydacyjnego oznaczonego metodą *Folina-Ciocalteu*. W przypadku fermentacji metanolowych ekstraktów z kapusty wzrost potencjału antyoksydacyjnego wobec ABTS i DPPH nie był tak wyraźny jak w przypadku soku z kapusty, jednak już po 4 dniach procesu stwierdzono ok. 6-krotny wzrost potencjału antyoksydacyjnego oznaczonego metodą *Folina-Ciocalteu* [45].

Podsumowanie

Celem pracy było przedstawienie zagadnienia zmian zawartości polifenoli w przetwarzanej kulinarnie żywności i wpływu tych procesów na potencjał antyoksydacyjny produktów spożywczych na podstawie przeglądu piśmiennictwa. Oddziaływanie wysokiej temperatury powoduje straty składników odżywczych, zwłaszcza witamin wrażliwych na ogrzewanie, ale trudno jest jednoznacznie określić wpływ procesów kulinarnych na zawartość składników bioaktywnych w żywności. W piśmiennictwie można znaleźć wiele prac poświęconych temu tematowi, ale wyniki uzyskiwane przez poszczególnych autorów znacznie się różnią.

Na podstawie wyników cytowanych badań można zauważyć, że jednym z decydujących czynników, który miał wpływ na zmniejszenie lub zwiększenie zawartości polifenoli i zmiany potencjału antyoksydacyjnego żywności był rodzaj produktu spożywczego poddane obróbce kulinarniej. Obserwowano, że proces prowadzony w takich samych warunkach w odmienny sposób wpływał na różne produkty. Miało to związek

z zawartością w produktach różnych antyoksydantów (w tym flawonoidów i witamin A, C, E) w różnicowanej ilości. Zmiany zachodzące w produktach spożywczych pod wpływem obróbki kulinarniej były związane także z jej rodzajem, czasem trwania oraz temperaturą. Odmienne wyniki otrzymywane przez cytowanych autorów świadczą o wielu reakcjach zachodzących między składnikami żywności podczas oddziaływania wysokiej temperatury, w czasie których, m.in. mogą powstawać nowe związki przeciw- lub proutleniające, formy glikozydowe przeciwutleniaczy mogą przechodzić do aglikonów, a także mogą powstawać kompleksy z innymi składnikami żywności. Działanie wysokiej temperatury powoduje znaczne straty antyoksydacyjnej witaminy C w produktach spożywczych, co także ma wpływ na aktywność przeciwutleniającą przetworzonej żywności. Przy porównywaniu wyników prac istotne jest również wzięcie pod uwagę zastosowanych metod analitycznych, ponieważ uwzględniają one odmiennie właściwości antyoksydantów, co przekłada się na rezultaty analiz. Wyniki przedstawionych badań świadczą o korzystnym wpływie procesów kulinarnych na zawartość polifenoli w żywności oraz jej potencjał przeciwutleniający.

Zawartość związków bioaktywnie czynnych (takich jak flawonoidy) w diecie oraz potencjał antyoksydacyjny diet, z uwagi na ich pozytywny wpływ w prewencji wielu schorzeń, są aktualnie często oceniane w licznych badaniach przekrojowych i epidemiologicznych. Biorąc pod uwagę tak zróżnicowany wpływ procesów kulinarnych na zawartość tych składników i zdolność przeciwutleniającą żywności wskazane jest uwzględnianie tego czynnika podczas przeprowadzania wywiadów żywieniowych, a następnie ocenie sposobu żywienia różnych populacji.

Piśmiennictwo / References

1. Kunachowicz H, Nadolna I. Współczesne poglądy na zagadnienie wpływu procesów przetwarzania żywności na zachowanie witamin ze szczególnym uwzględnieniem procesów kulinarnych. *Bromat Chem Toksykol* 2004, 37: 105-111.
2. McCullough ML, Peterson JJ, Patel R, et al. Flavonoid intake and cardiovascular disease mortality in a prospective cohort of US adults. *Am J Clin Nutr* 2012, 95: 454-464.
3. Hollman PC, Geelen A, Kromhout D. Dietary flavonol intake may lower stroke risk in men and women. *J Nutr* 2010, 140: 600-604.
4. Le Marchand L. Cancer preventive effects of flavonoids—a review. *Biomed Pharmacother* 2002, 56: 296-301.
5. Zhao B. Natural antioxidants for neurodegenerative diseases. *Mol Neurobiol* 2005, 31: 283-293.
6. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2013. USDA Database for the Flavonoid Content of Selected Foods, Release 3.1. Nutrient Data Laboratory Home Page. <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/12354500/Data/Flav/Flav3-1.pdf>
7. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. 2008. USDA Database for the Isoflavone Content of Selected Foods, Release 2.0. Nutrient Data Laboratory Home Page. http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/12354500/Data/isoflav/Isoflav_R2.pdf
8. Kunachowicz H, Nadolna I, Iwanow K, Przygoda B. Wartość odżywcza wybranych produktów spożywczych i typowych potraw. PZWL, Warszawa 2009.
9. Chun OK, Chung SJ, Song WO. Estimated dietary flavonoid intake and major food sources of U.S. adults. *J Nutr* 2007, 137: 1244-1252.
10. Zamora-Ros R, Knaze V, Luján-Barroso L, et al. Differences in dietary intakes, food sources and determinants of total flavonoids between Mediterranean and non-Mediterranean countries participating in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. *Br J Nutr* 2013, 109: 1498-1507.

11. Iłow R, Regulska-Iłow B, Różańska D, et al. Assessment of dietary flavonoid intake among 50-year-old inhabitants of Wrocław in 2008. *Adv Clin Exp Med* 2012, 21: 353-362.
12. Różańska D, Regulska-Iłow B, Iłow R. Wpływ procesów kulinarnych na zawartość wybranych witamin w żywności. Cz. I. Witamina C i foliany. *Bromat Chem Toksykol* 2013, 46: 241-249.
13. Duda-Chodak A, Wojdyło A. Charakterystyka chemiczna związków fenolowych. [w:] *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. Grajek W (red). WNT, Warszawa 2007: 141-151.
14. Cieślak E. Wpływ obróbki hydrotermicznej na stabilność przeciwutleniaczy zawartych w żywności. [w:] *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne*. Grajek W (red). WNT, Warszawa 2007: 474-478.
15. Prior RL, Wu X, Schaich K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J Agric Food Chem* 2005, 53: 4290-4302.
16. Borowski J, Borowska EJ, Szajdek A. Wpływ warunków obróbki cieplnej brokułów (*Brassica oleracea* var. *italica*) na zmiany polifenoli i zdolność zmiatania rodnika DPPH. *Bromat Chem Toksykol* 2005, 38: 125-131.
17. Drużyńska B, Stępień K, Piecyk M. Wpływ gotowania i mrożenia na zawartość niektórych składników bioaktywnych i ich aktywność przeciwutleniającą w brokułach. *Bromat Chem Toksykol* 2009, 42: 169-176.
18. Kurzeja E, Stec M, Pawłowska-Góral K i wsp. Wpływ obróbki termicznej na właściwości antyoksydacyjne soków z wybranych odmian pomidora. *Bromat Chem Toksykol* 2009, 42, 861-864.
19. Porter Y. Antioxidant properties of green broccoli and purple-sprouting broccoli under different cooking conditions. *Bioscience Horizons* 2012, 5: 1-11.
20. Dewanto V, Wu X, Liu RH. Processed sweet corn has higher antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 2002, 50: 4959-4964.
21. Gahler S, Otto K, Böhm V. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *J Agric Food Chem* 2003, 51: 7962-7968.
22. McDougall GJ, Dobson P, Jordan-Mahy N. Effect of different cooking regimes on rhubarb polyphenols. *Food Chem* 2010, 119: 758-764.
23. Ševčík R, Kondrashov A, Kvasnička F, et al. The impact of cooking procedures on antioxidant capacity of potatoes. *J Food Nutr Res* 2009, 48: 171-177.
24. Tudela JA, Cantos E, Espín JC, et al. Induction of antioxidant flavonol biosynthesis in fresh-cut potatoes. Effect of domestic cooking. *J Agric Food Chem* 2002, 50: 5925-5931.
25. Wachtel-Galor S, Wong KW, Benzie IFF. The effect of cooking on Brassica vegetables. *Food Chem* 2008, 110: 706-710.
26. Miglio C, Chiavaro E, Visconti A, et al. Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables. *J Agric Food Chem* 2008, 56: 139-147.
27. Podsędek A, Sosnowska D, Redzyna M, et al. Effect of domestic cooking on the red cabbage hydrophilic antioxidants. *Int J Food Sci Technol* 2008, 43: 1770-1777.
28. Turkmen N, Sari F, Velioglu YS. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem* 2005, 93: 713-718.
29. Zhang D, Hamauzu Y. Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking. *Food Chem* 2004, 88: 503-509.
30. Puupponen-Pimiä R, Häkkinen ST, Aarni M, et al. Blanching and long-term freezing affect various bioactive compounds of vegetables in different ways. *J Sci Food Agric* 2003, 83: 1389-1402.
31. Ismail A, Marjan ZM, Foong CW. Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem* 2004, 87: 581-586.
32. Amin I, Lee WY. Effect of different blanching times on antioxidant properties in selected cruciferous vegetables. *J Sci Food Agric* 2005, 85: 2314-2320.
33. Jiménez-Monreal AM, García-Diz L, Martínez-Tomé M, et al. Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. *J Food Sci* 2009, 74: H97-H103.
34. Wolosiak R, Worobiej E, Piecyk M, et al. Activities of amine and phenolic antioxidants and their changes in broad beans (*Vicia faba*) after freezing and steam cooking. *Int J Food Sci Technol* 2010, 45: 29-37.
35. Xu B, Chang SKC. Effect of soaking, boiling, and steaming on total phenolic content and antioxidant activities of cool season food legumes. *Food Chem* 2008, 110: 1-13.
36. Han H, Baik B-K. Antioxidant activity and phenolic content of lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), peas (*Pisum sativum* L.) and soybeans (*Glycine max*), and their quantitative changes during processing. *Int J Food Sci Technol* 2008, 43: 1971-1978.
37. Tynek M, Papiernik L. Aktywność przeciwutleniająca polifenoli zawartych w sokach z kapusty surowej i kiszonej podczas ich obróbki termicznej. *Bromat Chem Toksykol* 2005, supl: 171-175.
38. Kudelski A, Synowiec-Wojtarowicz A, Kliś B i wsp. Ocena wpływu obróbki termicznej na stężenie flawonoidów i polifenoli w sokach z różnych odmian kapusty. *Bromat Chem Toksykol* 2012, 45: 985-988.
39. Dobarganes C, Márquez-Ruiz G, Velasco J. Interactions between fat and food during deep-frying. *Eur J Lipid Sci Technol* 2000, 102: 521-528.
40. Synowiec-Wojtarowicz A, Kudelski A, Bielińska A i wsp. Wpływ procesów technologicznych na zmiany potencjału antyoksydacyjnego i parametry barwy soków jabłkowych. *Bromat Chem Toksykol* 2012, 45: 975-979.
41. Danesi F, Bordoni A. Effect of home freezing and Italian style of cooking on antioxidant activity of edible vegetables. *J Food Sci* 2008, 73: H109-H112.
42. Miszkiewicz H, Okrajni J, Bielecki S. Zmiany zawartości oraz aktywności przeciwutleniającej polifenoli i albumin grochu podczas fermentacji w bioreaktorze SSSR. *Żywn Nauk Technol Jakość* 2008, 58: 67-79.
43. Biezanowska-Kopec R, Pisulewski PM. Wpływ procesów termicznych i biologicznych na pojemność przeciwutleniającą nasion fasoli (*Phaseolus vulgaris* L.). *Żywn Nauk Technol Jakość* 2006, 48: 51-64.
44. Đorđević TM, Šiler-Marinković SS, Dimitrijević-Branković SI. Effect of fermentation on antioxidant properties of some cereals and pseudo cereals. *Food Chem* 2010, 119: 957-963.
45. Kusznierevicz B, Śmiechowska A, Bartoszek A i wsp. The effect of heating and fermenting on antioxidant properties of white cabbage. *Food Chem* 2008, 108: 853-861.