

THE CONTENT OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN NEW CREATED FRUIT JUICES FROM ORGANIC PRODUCTION

Summary

Organic products are recognized by consumers as safer (e.g. free from pesticide residues) as well as richer compounds important for human health. The fruit juices are one of the best source of bioactive compounds like polyphenols (phenolic acids, flavonoids and anthocyanins), as well as vitamins (especially vitamin C). In the experiment four types of fruit juices were tested: chokeberry juice, apple-chokeberry juice, clear apple juice and clear apple juice with addition of green tea extract. The dry matter content of the juices was measured and moreover the content of vitamin C and polyphenols were measured by HPLC method. The obtained results show that apple juice with addition of green tea extract in comparison to the other analyzed fruit juices contained significantly more dry matter, total flavonoids and individual phenolic acids as: gallic and caffeic as well as luteolin. The chokeberry juice in comparison to the other tested juices contained significantly more vitamin C, total anthocyanins and all of the individual anthocyanins, total phenolic acids as well as the individual phenolic acids: *p*-coumaric, ferulic, cinamic, myricetin and apigenin. Whereas clear apple juice contained significantly more chlorogenic acid and quercetin than other tested fruit juices.

Key words: apples, chokeberry, fruit juices, organic production, bioactive compounds, research

ZAWARTOŚĆ ZWIĄZKÓW BIOAKTYWNYCH W NOWYCH SOKACH OWOCOWYCH Z PRODUKCJI EKOLOGICZNEJ

Streszczenie

Przetwory ekologiczne, a w szczególności soki, cieszą się dużą popularnością wśród konsumentów. Jest to związane z postrzeganiem ekologicznego sposobu uprawy owoców jako bezpieczniejszego (owoce wolne od pozostałości środków ochrony roślin – pestycydów) oraz dającego surowiec o wysokiej zawartości związków pozytywnych dla zdrowia. Soki owocowe są bardzo dobrym źródłem związków biologicznie czynnych z grupy polifenoli (kwasów fenolowych, flawonoidów, jak też antocyjanów) oraz witamin, szczególnie witaminy C. Do doświadczenia użyto sok jabłkowy klarowany (100%), sok aroniowy (100%), sok mieszany jabłkowo-aroniowy (76%:24%) oraz sok jabłkowy klarowany wzbogacony ekstraktem z zielonej herbaty. W próbkach soków oznaczono zawartość suchej masy (metodą wagową) oraz zawartość związków polifenolowych metodą HPLC. Otrzymane wyniki wskazują, że sok jabłkowy z ekstraktem z zielonej herbaty charakteryzował się istotnie większą zawartością suchej masy, flawonoidów ogółem oraz poszczególnych kwasów fenolowych: galusowego i kawowego, jak też luteoliny w porównaniu z pozostałymi rodzajami soków owocowych. Sok aroniowy (100%) charakteryzował się istotnie większą zawartością witaminy C, antocyjanów ogółem, wszystkich wykrytych antocyjanów, kwasów fenolowych ogółem, jak też poszczególnych kwasów fenolowych: *p*-kumarynowego, ferulowego, cynamonowego, myricetyny i apigeniny w porównaniu z pozostałymi badanymi rodzajami soków owocowych. Natomiast sok jabłkowy (100%) charakteryzował się istotnie większą zawartością kwasu chlorogenowego i kwercetyny niż inne rodzaje poddanych analizie soków owocowych.

Słowa kluczowe: jabłka, aronia, soki owocowe, produkcja ekologiczna, związki bioaktywne, badania

1. Wstęp

Przetwory ekologiczne, a w szczególności soki, cieszą się dużym zainteresowaniem wśród konsumentów. Jest to związane z postrzeganiem ekologicznego sposobu uprawy owoców jako bezpieczniejszego (owoce wolne od pozostałości środków ochrony roślin) oraz dającego surowiec o wysokiej zawartości związków pozytywnych dla zdrowia. Soki owocowe są bardzo dobrym źródłem związków biologicznie czynnych z grupy polifenoli (kwasów fenolowych, flawonoidów, jak też antocyjanów) oraz witamin, szczególnie witaminy C [3, 9]. Liczne badania wskazują, że regularna konsumpcja związków biologicznie czynnych, których źródłem są owoce oraz soki owocowe, jest bezpośrednio skorelowana z obniżeniem wystąpienia licznych niebezpiecznych chorób chronicznych [1, 5]. Sok jabłkowy jest bardzo popularny wśród polskich konsumentów (14,3%) i znajduje się na trzecim miejscu zaraz za sokiem wielowa-

rzywnym (21,0%) oraz pomarańczowym (24,6%) [2]. Natomiast sok aroniowy jest niedoceniany przez polskiego konsumenta, pomimo tego, że jego walory zdrowotne znacznie przewyższają sok jabłkowy czy pomarańczowy. Owoce aronii są bardzo zasobne w antocyjany, których zawartość kształtuje się w przedziale od 0,64 do 1,95 g /100 g s.m. [7, 8, 11, 13] oraz związki flawonoidowe, a w szczególności rutynę (15-79 mg/100 g s.m.). Dominującym kwasem fenolowym w owocach aronii jest kwas chlorogenowy, który występuje w owocach aronii w ilości 302-422 mg/100 g s.m. owoców [11, 13]. Mankamentem soku aroniowego jest jego cierpkość, która wynika z dużej zawartości garbników w owocach aronii.

Bardzo duże znaczenie dla jakości soku ma technologia jego produkcji. W przypadku soków jabłkowych na polskim rynku w sprzedaży znajdują się soki naturalnie mętne (wyciśnięte z zachowaniem miąższu i drobin owoców) oraz soki klarowane. Soki naturalnie mętne są polecane jako so-

ki o większej zawartości związków biologicznie czynnych w porównaniu z sokami klarowanymi. W procesie klarowania soków traci się ponad 45% zawartych w sokach flawonoidów oraz ponad 60% polifenoli [14]. Producenci soków owocowych poszukują nowych rozwiązań w dziedzinie produkcji soków. Celem pracy była ocena zawartości związków polifenolowych w nowo zaprojektowanych kompozycjach soków owocowych ekologicznych, opartych na sokach jabłkowych i aroniowych.

2. Materiał i metody

Doświadczenie przeprowadzono w roku 2011. Analizie poddano cztery różne, nowoprojektowane soki owocowe: aroniowy, jabłkowo-aroniowy, jabłkowy klarowany oraz jabłkowy klarowany wzbogacony ekstraktem z zielonej herbaty. W próbkach soków oznaczono: zawartość suchej masy metodą wagową (PN-R-04013:1988), witaminy C (PN-A-04019:1998), antocyjanów [6], polifenoli z rozdziałem na frakcje kwasów fenolowych i flawonoidów (HPLC metoda własna). Otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej z zastosowaniem testu Tukey'a na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Wybrano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA.

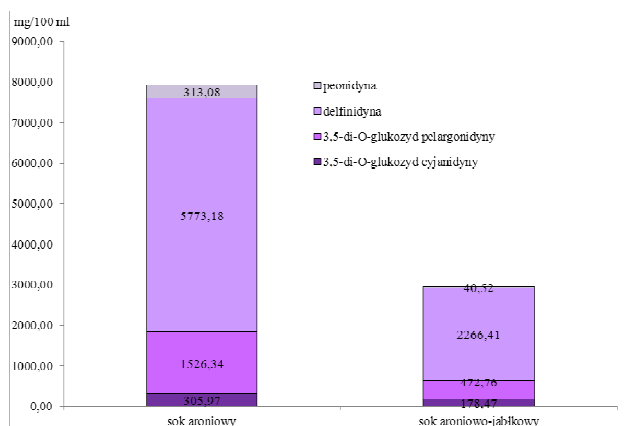
3. Wyniki

Przeprowadzona analiza chemiczna wykazała, że sok aroniowy zawierał 6,64 g suchej masy w 100 ml soku (tab. 1). Dodatek soku jabłkowego do soku aroniowego przyczynił się do zwiększenia zawartości suchej masy w badanej próbce soku jabłkowo-aroniowego. Próbka soku aroniowo-jabłkowego zawierała 7,43 g suchej masy w 100 ml soku. Czysty sok jabłkowy charakteryzował się największą zawartością suchej masy, wynoszącą 9,39 g w 100 ml. Sok jabłkowy wzbogacony ekstraktem z zielonej herbaty zawierał najwięcej bo aż 11,35 g suchej masy w 100 ml.

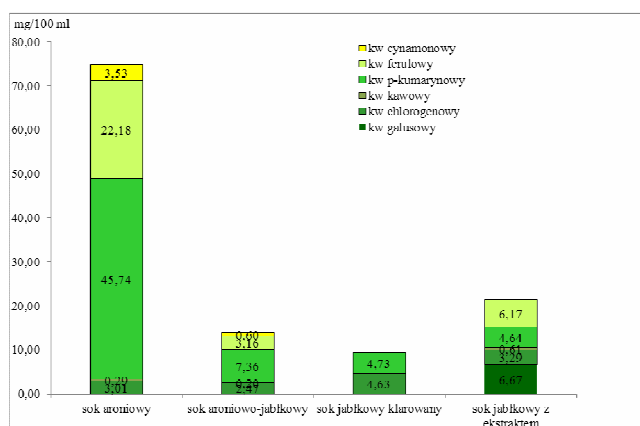
W przypadku witaminy C największą jej zawartością charakteryzował się sok aroniowy, w którym znajdowało się aż 50,53 mg witaminy C w 100 ml soku. W soku jabłkowo-aroniowym zawartość witaminy C wyniosła 31,65 mg/100 ml. Spośród przebadanych próbek soków owocowych najmniejszą zawartością witaminy C charakteryzował się klarowany sok jabłkowy z zawartością witaminy C wynoszącą tylko 10,04 mg/100 ml. Dodatek ekstraktu z zielonej herbaty nie przyczynił się do zmiany zawartości witaminy C w soku jabłkowym. Sok jabłkowy z ekstraktem zawierał jej 10,18 mg/100 ml soku.

Sok aroniowy był także najbardziej zasobny w antocyjany ogółem. W próbce soku aroniowego stwierdzono 7,92 g/100 ml antocyjanów ogółem. W soku jabłkowo-aroniowym poziom antocyjanów ogółem był znacznie niższy i wynosił 2,96 g/100 ml soku. W próbkach soku aroniowego wykryto następujące antocyjany: 3,5-di-O-glukozyd cyjanidyny, 3,5-di-O-glukozyd pelargonidyny, delfinidynę oraz peonidynę (rys. 1). Badane soki aroniowy i mieszany jabłkowo-aroniowy różniły się istotnie zawartością 3,5-di-O-glukozydu cyjanidyny. Czysty sok aroniowy zawierał 305,97 mg/100 ml 3,5-di-O-glukozydu cyjanidyny, podczas gdy sok jabłkowo-aroniowy 178,47 mg/100 ml 3,5-di-O-glukozydu cyjanidyny. Natomiast dominującym antocyjanem w soku aroniowym i jabłkowo-aroniowym była delfinidyna. Sok aroniowy zawierał jej aż 5,77 g/100 ml,

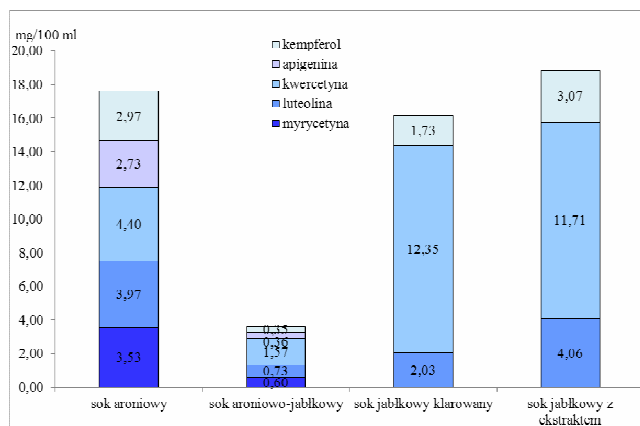
a w soku jabłkowo-aroniowym było jej o 50% mniej (2,27 g/100 ml). Próbki soku aroniowego okazały się dość zasobne w 3,5-di-O-glukozyd pelargonidyny (1,53 g/100 ml), podczas gdy dodatek soku jabłkowego do aroniowego spowodował, że w soku jabłkowo-aroniowym było tylko 0,47 g/100 ml tego związku. Sok aroniowy w porównaniu z sokiem aroniowo-jabłkowym był również zasobniejszy w peonidynę, której zawartość wyniosła w soku aroniowym 313,08 mg/100 ml, a w soku jabłkowo-aroniowym 40,52 mg/100 ml.



Rys. 1. Profil antocyjanów w badanych sokach owocowych
Fig. 1. Profile of the antocyanins in analyzed fruit juices



Rys. 2. Profil kwasów fenolowych w badanych sokach owocowych
Fig. 2. Profile of the phenolic acids in analyzed fruit juices



Rys. 3. Profil flawonoidów w badanych sokach owocowych
Fig. 3. Profile of the flavonoids in analyzed fruit juices

Tab.1. Zawartość suchej masy, witaminy C oraz związków polifenolowych w badanych rodzajach soków owocowych
 Tab. 1. The content of dry matter, vitamin C and polyphenols compounds in analyzed fruit juices

	Sucha masa Dry matter [g/100ml]	Witamina C Vitamin C [mg/100ml]	Polifenole ogółem Total polyphenols [mg/100ml]	Antocyjany ogółem Total anthocyanins [mg/100ml]	Kwasy fenolowe ogółem Total phenolic acids [mg/100ml]	Flawonoidy ogółem Total flavonoids [mg/100ml]
Sok aroniowy <i>Chokeberry juice</i>	6,64 a*	50,53 c	8033,36 d	7918,57 b	74,75 d	40,04 c
Sok jabłkowo-aroniowy <i>Apple-chokeberry juice</i>	7,43 b	31,65 b	2981,99 c	2958,16 a	13,80 b	10,03 a
Sok jabłkowy klarowany <i>Clear apple juice</i>	9,39 c	10,04 a	34,06 a	n.d.**	9,36 a	24,70 b
Sok jabłkowy wzbogacony ekstraktem <i>Apple juice with tea extract</i>	11,35 d	10,18 a	338,39 b	n.d.	21,38 c	317,01 d
p-value						
Rodzaj soku <i>Type of juice</i>	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

*te same litery oznaczają brak różnic istotnych statystycznie na poziomie $\alpha=0,05$

/the same letters mean no statistical difference at the level $\alpha=0,05$ /

** związek nie wykryty /compound not detected/

Sok aroniowy charakteryzował się istotnie większą zawartością polifenoli ogółem (8,03 g/100 ml) niż sok jabłkowo-aroniowy (2,98 g/100 ml). Ponadto otrzymane wyniki wyraźnie wskazały, że wzbogacenie soku jabłkowego ekstraktem z zielonej herbaty przyczyniło się do wzrostu zawartości polifenoli ogółem w produkcie finalnym. Klarowany sok jabłkowy zawierał 34,06 mg/100ml polifenoli ogółem, zaś sok wzbogacony ekstraktem aż 338,9 mg/100 ml.

W porównaniu z pozostałymi poddanymi analizie chemicznej sokami, sok aroniowy charakteryzował się istotnie większą zawartością kwasów fenolowych ogółem (74,75 mg/100 ml). W klarowanym soku jabłkowym zawartość kwasów fenolowych była najmniejsza i wyniosła 9,36 mg/100 ml. Sok aroniowy wyróżniał się ponadto szczególnie dużą zawartością kwasu ferulowego i kwasu p-kumarynowego (rys. 2).

W przypadku zawartości flawonoidów ogółem stwierdzono, że sok jabłkowy z dodatkiem ekstraktu z zielonej herbaty był najbardziej zasobny w te związki i zawierał ich 317,01 mg/100 ml. W soku aroniowym zawartość flawonoidów ogółem wyniosła 40,04 mg/100 ml, zaś w soku mieszanym jabłkowo-aroniowym tylko 10,03 mg/100 ml.

4. Dyskusja

Soki owocowe są bardzo dobrym źródłem licznych związków o charakterze przeciwutleniającym. Związki te są niezwykle ważne dla organizmu człowieka, gdyż bronią go przed skutkami działania wolnych rodników. W przeprowadzonych badaniach, najwięcej związków przeciwutleniających z grupy polifenoli (antocyjanów, kwasów fenolowych oraz flawonoidów) stwierdzono w soku aroniowym. Sok mieszany jabłkowo-aroniowy zawierał znacznie więcej (2,98 g/100 ml) badanych związków w porównaniu z klarowanym sokiem jabłkowym (0,034 g/100 ml) oraz sokiem jabłkowym wzbogaconym ekstraktem z zielonej herbaty (0,34 g/100 ml). Podobną zależność otrzymali Żukiewicz-Sobczak i wsp. [18], którzy wykazali, że wśród porównanych napojów owocowych największą zawartość polifenoli oznaczono w napoju aroniowym (36,4 mg/100 ml), zaś

najmniejszą w soku jabłkowym (4,3 mg/100 ml). Zawartości polifenoli ogółem w klarowanym soku jabłkowym podobne do zaprezentowanych tu wyników przedstawili Pieszko i Orzoł [15]. W ich badaniach zawartość kwasów fenolowych ogółem w klarowanym soku jabłkowym wyniosła 5,19 mg/100 ml soku, podczas gdy w prezentowanym badaniu było to 9,36 mg/100 ml. Markowski i Płocharski [12] przeprowadzili badania składu związków fenolowych w owocach jabłek przeznaczonych do produkcji soków. Po wyprodukowaniu soków z określonych surowców soki mętne zawierały średnio 53% związków fenolowych obecnych w owocach, podczas gdy w sokach klarowanych wytworzonych przy zastosowaniu dwóch różnych metod depeptynizacyjnych pozostało średnio tylko 27% związków fenolowych obecnych w jabłkach.

W przeprowadzonych badaniach sok jabłkowy charakteryzował się największą zawartością kwercetyny 12,35 mg/100 ml, a najmniej tego związku było w soku mieszanym jabłkowo-aroniowym 1,57 mg/100 ml (rys. 3). Jak podają Markowski i Płocharski [12] sok jabłkowy mętny zawierał o 97,8% więcej flawonoli ogółem oraz o 149,8% więcej kwasów fenolowych ogółem, natomiast o 65,2% mniej pochodnych kwercetyny w porównaniu z sokami poddanymi procesom depeptynizacji.

Związki antocyjanowe charakteryzują się bardzo silnymi właściwościami przeciwutleniającymi. W przeprowadzonych badaniach sok aroniowy charakteryzował się największą zawartością antocyjanów ogółem (7,92 g/100 ml), a w soku mieszanym jabłkowo-aroniowym było to 2,96 g/100 ml soku. W badaniach Człapki-Matysik i wsp. [4] otrzymano podobne zależności: soki ciemne (z czarnej porzeczki, winogronowy i aroniowy) charakteryzowały się znacznie większą siłą przeciwutleniającą w porównaniu z sokami jasnymi - jabłkowym, grapefruitowym i pomarańczowym.

Zawartość witaminy C w sokach owocowych zależy od takich czynników jak gatunek i odmiana owocu, z którego wykonano sok, pochodzenie owoców (owoce ekologiczne czy konwencjonalne), sposób postępowania z pulpą owocową w trakcie przetwarzania owoców na sok, metody klarowania soku, temperatura i czas pasteryzacji. Witamina C

jest bardzo wrażliwa na liczne czynniki technologiczne, szczególnie temperaturę i dostępność tlenu. Następuje wtedy szybki rozkład tej witaminy. Producenci soków konwencjonalnych stosują dodatek syntetycznej witaminy C (kwasu l-askorbinowego) w celu uzupełnienia strat naturalnej witaminy C oraz zabezpieczenia innych związków bioaktywnych (karotenoidów i polifenoli) przed utlenieniem. Jak podaje Świetlikowska i wsp. [16], ekologiczne soki warzywne zawierały istotnie mniej witaminy C w porównaniu z sokami konwencjonalnymi i było to odpowiednio 28,80 mg/100 ml oraz 32,54 mg/100 ml badanego soku. W swojej pracy Zajac i Podsędek [17], otrzymali zawartość witaminy C w klarowanym soku jabłkowym w ilości 4,80 mg/100 ml, a w soku aroniowym 89,0 mg/100 ml.

Wyniki przedstawionych badań wskazują, że dodatek ekstraktu z zielonej herbaty do klarowanego soku jabłkowego ma istotny wpływ na zwiększenie zawartości w nim związków biologicznie czynnych. Kalisz i Ścibisz [10] wykazali, że dodatek ekstraktu z zielonej herbaty do nektarów owocowych zwiększył zawartość polifenoli w produkcie finalnym. Wzbogacenie nektaru z czarnej porzeczki ekstraktem z zielonej herbaty, spowodowało zwiększenie zawartości polifenoli ogółem z 96,3 mg/100 ml do 110,1 mg/100 ml. Oznaczono także zawartość witaminy C w nektarze bez dodatków i w nektarze wzbogaconym o ekstrakt z zielonej herbaty i jej zawartość kształtowała się na poziomie odpowiednio 27,3 mg/100ml i 34,9 mg/100ml.

5. Wnioski

1. Wśród ekologicznych soków owocowych naturalnych czysty sok aroniowy charakteryzował się istotnie większą w porównaniu z innymi sokami zawartością: witaminy C, polifenoli ogółem, antocyjanów ogółem oraz kwasów fenolowych ogółem.
2. Sok aroniowy charakteryzował się istotnie większą zawartością poszczególnych wykrytych antocyjanów: 3,5-di-O-glukozydu cyjanidyny, 3,5-di-O-glukozydu pelargonidyny, delfinidyny oraz peonidyny w porównaniu z sokiem mieszanym jabłkowo-aroniowym; antocyjany nie występowały w badanych sokach jabłkowych.
3. Dodatek ekstraktu z zielonej herbaty do klarowanego soku jabłkowego przyczynił się do zwiększenia zawartości suchej masy, polifenoli ogółem, kwasów fenolowych ogółem oraz flawonoidów ogółem w próbkach soku jabłkowego.
4. Produkcja wzbogacanych (np. w ekstrakt z zielonej herbaty) soków ekologicznych ma uzasadnienie, gdy znane technologie pozyskiwania soku nie pozwalają na wytworzenie soku mętnego, który jest zasobniejszy w związki biologicznie czynne w porównaniu z sokiem klarowanym.
5. Soki owocowe mieszane mogą być dobrym sposobem na wzbogacanie soku w związki fenolowe, a przez to korzystną propozycją żywieniową w porównaniu z sokami jednoskładnikowymi.

6. Bibliografia

- [1] Agudo A., Cabrera L., Amiano P., Ardanaz E., Barricarte A., Berenguer T., Chirlaque M.D., Dorrnsoro M., Jakszyn P.,

- Larrañaga N., Martínez C., Navarro C., Quirós J.R., Sánchez M.J., Tormo M.J., González C.A.: Fruit and vegetable intakes, dietary antioxidant nutrients, and total mortality in Spanish adults: findings from the Spanish cohort of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC-Spain). *Am. J. Clin. Nutr.*, 2007, 85, 1634-1642.
- [2] AIJN: Liquid Fruit Market Report 24-35, Produced by Progressive Media Group Plc, Printed by Williams Press, 2012.
- [3] Bermúdez-Soto M.J., Tomás-Barberán F.A.: Evaluation of commercial red fruit juice concentrates as ingredients for antioxidant functional juices. *Eur. Food Res. Technol.*, 2005, 219, 133-141.
- [4] Człapka-Matyasik M., Fejfer M., Gramza-Michałowska A., Kostrzewa-Tarnowska A., Jeszka J.: Właściwości antyrodnikowe wybranych soków owocowych dostępnych na rynku polskim. *Probl. Hig. Epidemiol.*, 2011, 92, 4, 991-993.
- [5] Dembinska-Kiec, A., Mykkanen, O., Kiec-Wilk, B., Mykkanen, H.: Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *British J. Nutr.*, 2008, 99, 109-117.
- [6] Dóka O., Ficzek G., Bicanic D., Spruijt R., Luterotti S., Tóth M., Buijnsters J.G., Végvári G.: Direct phytochemical techniques for rapid quantification of total anthocyanins content in sour cherry cultivars. *Talanta*, 2011, 84, 341-346.
- [7] Hudec J., Bakoš D., Mravec D., Kobida L., Burdova M., Turianica I., Hlušek J.: Content of phenolic compounds and free polyamines in black chokeberry (*Aronia melanocarpa*) after application of polyamine biosynthesis regulators. *J. Agric. Food Chem.*, 2006a, 54, 5, 3625-3628.
- [8] Hudec J., Kochanova R., Burdova M., Kobida L., Kogan G., Turianica I., Chlebo P., Hankov E., Slamka P.: Regulation of the phenolic profile of berries can increase their antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.*, 2006b, 57, 5, 2022-2029.
- [9] Jakobek L., Sneruga M., Maedvidović-Kosaannodvić M., Novak I.: Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. *Deutsche Lebensmittel Rundschau*, 2007, 103, 2, 58-64.
- [10] Kalisz S., Ścibisz I.: Wpływ dodatku ekstraktów roślinnych na zawartość polifenoli ogółem, antocyjanów, witaminy C i pojemność przeciwutleniającą nektarów z czarnej porzeczki. *Żyw. Nauka. Techn. Jakość.*, 2010, 5, 72, 45-55.
- [11] Kähkönen M.P., Hopia A.I., Heinonen M.: Berry phenolics and their antioxidant activity *J. Agric. Food Chem.*, 2001, 49, 8, 4076-4082.
- [12] Markowski J., Płocharski W.: Zmiany składu związków fenolowych przy przerobieniu jabłek na soki i przeciery. *Przem. Ferm. i Owoc-Warz.*, 2006, 4, 33-36.
- [13] Oszmański J., Wojdyło A.: *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity. *Eur. Food Res. Technol.*, 2005, 221, 809-813.
- [14] Oszmański J., Wojdyło A.: Effects of various clarification treatments on phenolic compounds and color of apple juice. *Eur. Food Res. Technol.*, 2007, 224, 755-762.
- [15] Pieszko C., Orzoł A.: Zawartość fenolokwasów w próbkach żywności. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2012, 45, 2, 159-164;
- [16] Świetlikowska K., Hallmann E., Bardadyn I., Rembiałkowska E.: Ocena zawartości związków bioaktywnie czynnych w wybranych sokach warzywnych pochodzących z produkcji ekologicznej i konwencjonalnej. *J. Res. Appl. Agric. Engng.*, 2012, 57, 4, 141-147.
- [17] Zajac K., Podsędek A.: Skład i właściwości przeciwutleniające wybranych handlowych soków owocowych. *Przem. Ferm. i Owoc.-Warz.*, 2002, 2, 14-16.
- [18] Żukiewicz-Sobczak W., Michalak-Majewska M., Kalbarczyk J.: Pojemność antyoksydacyjna wybranych napojów owocowych. *Bromat. Chem. Toksykol.*, 2009, 72, 3, 910-915.