

ZMIANY BARWY SOKU MARCHWIOWEGO W CZASIE OBRÓBK ULTRADŹWIĘKAMI

Paweł Sakowski, Emilia Janiszewska

Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności,
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
e-mail: emilia_janiszewska@sggw.pl

Streszczenie. Ultradźwięki to nowa metoda znajdująca zastosowanie w przemyśle spożywczym m.in. do przyspieszania jednostkowych operacji, takich jak: suszenie, ekstrakcja i zamrażanie. Sonikacja, pomimo małej inwazyjności, wpływa jednak na przemiany fizyczne, chemiczne i biochemiczne, zachodzące w surowcach. Barwa jest bardzo istotnym, z punktu widzenia konsumenta i producenta, wyróżnikiem jakości, opisującym produkty spożywcze. W badaniach określano wpływ 30-minutowej obróbki ultradźwiękami o częstotliwości 21 kHz na zmiany parametrów barwy soków marchwiowych o ekstrakcie 9, 12 i 21°Brix, pochodzących od dwóch producentów. Barwę mierzono w systemie CIE $L^*a^*b^*$, określając bezwzględną różnicę barwy, zmiany nasycenia i tonu barwy. Nie zaobserwowano jednoznacznego wpływu zawartości ekstraktu na zmiany barwy soków poddanych działaniu ultradźwięków. Stwierdzono, iż sok producenta A o ekstrakcie 21°Brix oraz sok producenta B o ekstrakcie 12°Brix cechowały się największą stabilnością na działanie ultradźwięków. Zmiany barwy soków po zastosowaniu ultradźwięków nie były wykrywalne przez ludzkie oko. Nie zaobserwowano także istotnych statystycznie zmian w różnicy nasycenia i tonu barwy pomiędzy sokami przed i po działaniu fali dźwiękowej.

Słowa kluczowe: sok marchwiowy, barwa, ultradźwięki

WSTĘP

Pierwsze wzmianki na temat ultradźwięków (US) sięgają prawie dwustu lat wstecz, kiedy to Charles Cagniard de la Tour w 1819 roku wytworzył je po raz pierwszy. Jednak dopiero Francis Galton w 1883 roku za pomocą skonstruowanej przez siebie piszczałki, wyznaczając górną granicę słyszalności, wprowadził praktyczne zastosowanie ultradźwięków. Przez wiele lat piszczałka Galtona stanowiła wzorcowe źródło sonikacji w zakresie do 50 kHz (Śliwiński 2001).

Nowoczesna metoda oddziaływania ultradźwiękami znalazła zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu, tj. w telekomunikacji i hydrolokacji, energetyce, metalurgii, medycynie, przemyśle chemicznym, spożywczym czy farmacji. W produkcji żywności sonikacja może być wykorzystywana m.in. do zmian przebiegu jednostkowych procesów. Do najczęściej modyfikowanych poprzez ultradźwięki procesów zaliczyć można filtrację, ekstrakcję, suszenie i zamrażanie (Śliwiński 2001, Knorr i in. 2004).

Istotnym ograniczeniem zastosowania procesu ultradźwięków w przetwórstwie żywności jest problem związany z wytwarzaniem ciepła podczas ich aplikacji, co może prowadzić do zmian właściwości fizycznych produktu np. barwy. W produktach płynnych wzrost temperatury ma związek ze zjawiskiem kawitacji, czyli implozji pęcherzyków gazu. W momencie wystąpienia tego zjawiska w bardzo krótkim czasie powstaje zarówno wysoka temperatura, jak i ciśnienie. W wyniku kawitacji generowane są także fale uderzeniowe, przyczyniające się do wystąpienia efektu ultradźwięków. Ponadto, uwodnione produkty mają stosunkowo wysokie napięcie powierzchniowe, co sprawia, że mogą być bardzo efektywnym medium dla procesu kawitacji, dzięki czemu efekt działania ultradźwięków jest większy niż w ciałach stałych o niskiej zawartości wody (Leighton 1998, Dähnke i in. 1999, Knorr i in. 2004).

Podczas działania ultradźwięków następuje także możliwość rozbijania, przez fale o niskiej częstotliwości wielkocząsteczkowych substancji jak białka, tłuszcze czy wielocukry (Suślik 1988, Kentish i Ashokkumar 2011). Wielkość cząstek oraz ich ilość w sokach mętnych czy tworzących zawiesiny (jak soki marchwiowe) może powodować zmiany barwy (Ashokkumar i in. 2008, Kentish i Ashokkumar 2011).

Barwa jest jednym z podstawowych parametrów, służących ocenie jakości produktów i surowców. Należy ona do podstawowych czynników, z punktu widzenia konsumenta, wpływających na akceptowalność kupowanego produktu. Jednocześnie często odbierana jest poprzez pryzmat jakości i świeżości soków. Do scharakteryzowania barwy soków stosuje się system zaproponowany przez Huntera w 1948 roku (CIE $L^*a^*b^*$), opierający się na pomiarze kilku parametrów: jasności, czerwoności i żółtości (Quitão-Teixeirai in. 2007, Chutintrasri i Noomhorm 2007, Galus i Lenart 2012).

Prowadzone do tej pory badania naukowe wskazują na brak lub minimalny wpływ ultradźwięków na barwę soków pomarańczowych (Valero i in. 2007, Tiwari i in. 2009). Jednakże Adekunle i in. (2010), badając soki pomidorowe, zaobserwowali wzrost wartości parametrów $L^*a^*b^*$ po zastosowaniu ultradźwięków. Zmianie uległa także bezwzględna różnica barwy, określająca wykrywalną dla oka ludzkiego różnicę barw.

Soki marchwiowe zaliczane są do soków zawiesinowych. W literaturze niewiele jest prac ujmujących zmiany barwy soków marchwiowych w aspekcie od-

działywań fal dźwiękowych na ich późniejsze postrzeganie przez konsumenta. Dlatego też celem badań było określenie wpływu parametrów procesu jednostkowego, jakim jest sonikacja, na zmianę barwy soku marchwiowego o różnej zawartości ekstraktu.

WYKAZ SYMBOLI

A9 – sok producenta A o zawartości ekstraktu 9,
A12 – sok producenta A o zawartości ekstraktu 12,
A21 – sok producenta A o zawartości ekstraktu 21,
B9 – sok producenta B o zawartości ekstraktu 9,
B12 – sok producenta B o zawartości ekstraktu 12,
B21 – sok producenta B o zawartości ekstraktu 21,
A9US – sok producenta A o zawartości ekstraktu 9 poddany sonikacji,
A12US – sok producenta A o zawartości ekstraktu 12 poddany sonikacji,
A21US – sok producenta A o zawartości ekstraktu 21 poddany sonikacji,
B9US – sok producenta B o zawartości ekstraktu 9 poddany sonikacji,
B12US – sok producenta B o zawartości ekstraktu 12 poddany sonikacji,
B21US – sok producenta B o zawartości ekstraktu 21 poddany sonikacji.

MATERIAŁ I METODY

Materiał do badań stanowiły soki marchwiowe dwóch producentów A i B, dostępne na półkach sklepowych. Soki charakteryzowały się różną początkową zawartością ekstraktu odpowiednio $A = 12$, $B = 9^\circ\text{Brix}$. W celu dokonania porównania między poszczególnymi sokami, poddano je procesowi zagęszczania lub rozcieńczenia. Sok A rozcieńczono do 9°Brix wodą destylowaną, a sok B zagęszczono do 12°Brix na wyparce próżniowej firmy Büchi Labortechnik AG (Flawil, Szwajcaria), przy ciśnieniu 150 mbar, które zapewniało temperaturę wewnątrz soku na poziomie 54°C przez okres 30 min. Dodatkowo, obydwie soki zagęszczono do wartości 21°Brix , stosując te same parametry przez 1,5 h.

Soki A i B, niezależnie od zawartości ekstraktu, poddano działaniu ultradźwięków w zakresie 21 kHz przy mocy 300 W, w urządzeniu firmy MKD Ultrasonic model MKD-3 (Stary Konik, Polska) przez 30 minut. W tym celu w urządzeniu umieszczano w szklanych pojemnikach 300 g soku (z dokładnością do 0,01 g). Pojemnik zanurzano do wysokości soku (3/4 wysokości pojemnika) w 1,5 l wody destylowanej. Każdorazowo przed i po procesie mierzono temperaturę soku.

Do pomiaru składowych barwy zastosowano chromometr Minolta CR-300 (New Jersey, USA). Rejestrowano wartości składowych w systemie CIE 1976 $L^*a^*b^*$ (L^* – jasność w zakresie 0-100, a^* – odpowiada chromatyczności od czer-

wonej do zielonej, b^* – od żółtej do niebieskiej). Aparat wykalibrowano na wzorcu bieli ($L^* 92,49$, $a^* 1,25$, $b^* - 1,92$). W celu dokonania pomiarów 50 ml soku umieszczano w szklanej kuwecie pomiarowej o średnicy 20 mm posiadającej 1 mm grubości ścianę. Pomiar wykonywano w połowie wysokości kuwety pomiarowej za pomocą sondy o średnicy 10 mm, zastosowano oświetlenie standardowe C. Za wynik oznaczenia przyjmowano wartość średnią z pięciu powtórzeń.

Wykorzystując parametry barwy L^* , a^* , b^* obliczono:

- bezwzględną różnicę barwy ze wzoru (Wrolstad i Smith 2010):

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_p^*)^2 + (a^* - a_p^*)^2 + (b^* - b_p^*)^2} \quad (1)$$

gdzie: L^* , a^* , b^* – parametry barwy soku świeżego, L_p^* , a_p^* , b_p^* – parametry barwy soku przetworzonego (poddanego działaniu ultradźwięków);

- zmianę nasycenia barwy ze wzoru (Zielińska i Markowski 2012, Wrolstad i Smith 2010):

$$\Delta C^* = \sqrt{(a_p^*)^2 + (b_p^*)^2} - \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (2)$$

- różnicę tonu ze wzoru (Zielińska i Markowski 2012, Wrolstad i Smith 2010):

$$\Delta H^* = \sqrt{(\Delta E)^2 - (L^* - L_p^*)^2} - (\Delta C^*)^2 \quad (3)$$

Analizę statystyczną uzyskanych wyników przeprowadzono przy wykorzystaniu pakietu statystycznego Statgraphics Plus 4.1. Wyniki badań poddano analizie statystycznej przy użyciu jednoczynnikowej analizy wariancji w układzie losowym. Wnioskowanie statystyczne prowadzono przy zastosowaniu testu Tukey'a przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

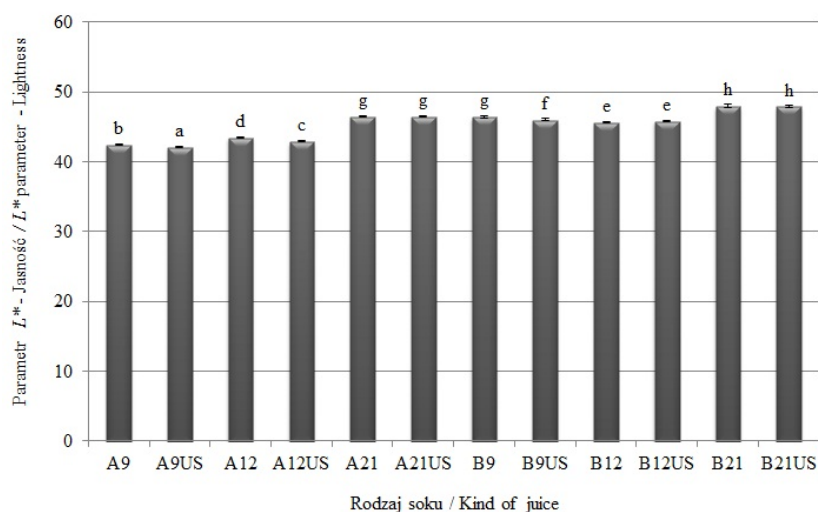
WYNIKI I DYSKUSJA

W soku producenta A o ekstrakcie 21°Brix (A21) oraz w soku producenta B o ekstrakcie 12 i 21°Brix (B12 i B21) zaobserwowano brak statystycznie istotnych zmian wartości parametru L^* , w porównaniu z sokiem przed zastosowaniem fali ultradźwiękowej (rys. 1). W pozostałych sokach odnotowano istotne zmniejszenie jasności surowca poddanego sonikacji, w porównaniu z sokami nietraktowanymi ultradźwiękami. Uzyskane wartości zmniejszyły się z $42,47 \pm 0,06$ do $42,10 \pm 0,03$, z $43,47 \pm 0,08$ do $42,88 \pm 0,09$ oraz z $46,45 \pm 0,20$ do $46,04 \pm 0,14$, od-

powiednio w sokach producenta A o ekstrakcie 9 i 12°Brix (A9-A9US, A12-A12US) oraz w soku o ekstrakcie 9°Brix producenta B (B9-B9US).

Adekunte i in. (2010), badając soki pomidorowe o niskim ekstrakcie, 6,02 Brix, również zauważyli spadek wartości parametru L^* po zastosowaniu US. Z kolei Tiwari i in. (2009) dla soków pomarańczowych (ekstrakt 9,23°Brix) oraz Valero i in. (2007) w sokach pomarańczowych (z 10% dodatkiem miąższu) wykazali istotny wzrost jasności po zastosowaniu sonikacji, co tłumaczono zmniejszeniem wielkości cząstek obecnych w soku. Tak różne zależności uzyskanych wyników, prezentowane w literaturze, mogą być związane z różnym składem chemicznym soków, ich konsystencją oraz obecnością różnych barwników.

Wzrost zawartości ekstraktu z 9 do 21°Brix w sokach marchwiowych powodował wzrost jasności. Uzyskane zależności potwierdziły spostrzeżenia Valero i in. (2007), którzy zaobserwowali wzrost jasności wraz ze wzrostem udziału dodatku miąższu do soku, który to zwiększał w nim zawartości suchej substancji.

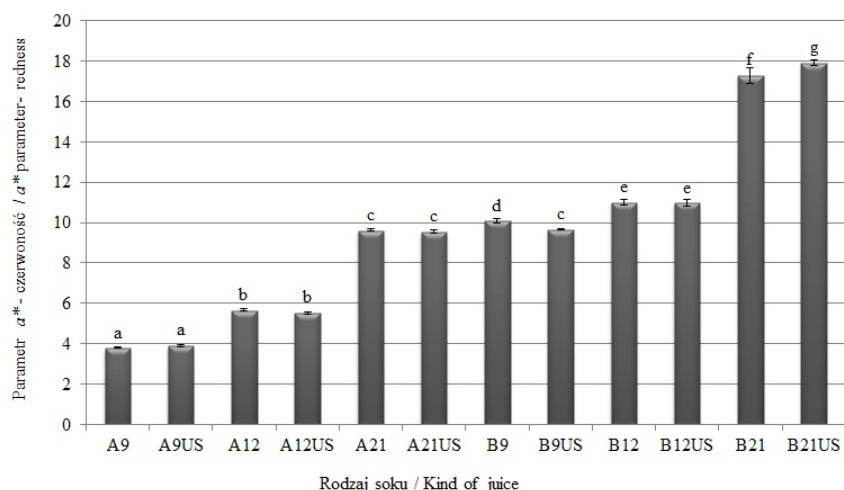


Rys. 1. Jasność L^* w sokach marchwiowych przed i po obróbce ultradźwiękami. Wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$

Fig. 1. Lightness parameter L^* in carrot juices before and after sonication. Mean values denoted with different letters differ statistically at $p = 0.05$

Współczynnik chromatyczności a^* , charakteryzujący barwę w zakresie od zielonego do czerwonego, zmieniał się wraz ze zmianą ekstraktu i wzrastał w przypadku zwiększania się wartości ekstraktu (rys. 2). Im większy był ekstrakt soku, tym współczynnik chromatyczności a^* osiągał wyższe wartości. Zaobserwowano iż sok producenta A posiadał dużo niższe wartości parametru chromatyczności a^* niż sok producenta B. Nie zauważono statystycznie istotnych różnic współczynnika

chromatyczności a^* w przypadku zastosowania US dla całego zakresu stężeń soku pochodzącego od producenta A. Podobną zależność uzyskano w soku producenta B, ale tylko w przypadku ekstraktu wynoszącego 12°Brix (B12).



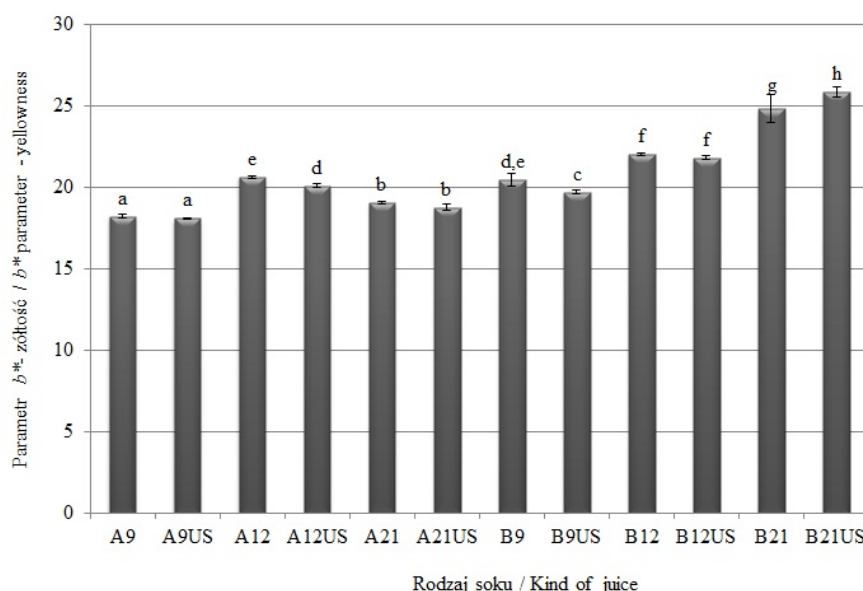
Rys. 2. Parametr chromatyczności a^* w sokach marchwiowych przed i po obróbce ultradźwiękami. Wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$

Fig. 2. Chromaticity factor a^* in carrot juices before and after sonication. Mean values denoted with different letters differ statistically at $p = 0.05$

W przypadku soku producenta B o najwyższej zawartości ekstraktu, poddanego działaniu US (B21US) zaobserwowano wzrost wartości współczynnika chromatyczności a^* z $17,30 \pm 0,16$ do $17,93 \pm 0,40$, w porównaniu z sokiem o tych samych parametrach bez obróbki. Natomiast w soku o ekstrakcie 9°Brix, także producenta B, stwierdzono odwrotną zależność. Po 30-minutowej obróbce, współczynnik chromatyczności a^* obniżył się o 0,41, w porównaniu z sokiem bez obróbki ultradźwiękowej. Podobne zależności w sokach o niskim ekstrakcie uzyskali Tiwari i in. (2009) oraz Adekunle i in. (2010).

Współczynnik chromatyczności, opisujący barwę w zakresie od niebieskiej do żółtej, nie uległ istotnej zmianie, po zastosowaniu procesu sonikacji w soku producenta A o ekstrakcie 9 i 21°Brix (A9US, A21US) oraz w soku o ekstrakcie 12°Brix producenta B (B12US) (rys. 3). Wykazano, że US wpłynęły na obniżenie współczynnika charakteryzującego barwę żółtą o 0,51 i 0,76, odpowiednio w przypadku soku producenta A o ekstrakcie 12°Brix i soku producenta B o zawartości ekstraktu 9°Brix. Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku soku B o ekstrakcie 21°Brix (B21US), gdzie dzięki sonikacji wartość współczynnika chroma-

tyczności b^* wzrosła o 1,02. Adekunte i in. (2010), stwierdzili, że działanie US na sok pomidorowy obniżyło wartość współczynnika chromatyczności b^* w istotnym stopniu. Natomiast Tiwari i in. (2009) udowodnili wzrost powyższego współczynnika z 56,29 do 60,54, w soku pomarańczowym o ekstrakcie 9,23°Brix, co w przypadku omawianych soków marchwiowych wystąpiło tylko w soku producenta B o ekstrakcie 21°Brix (B21US). Wzrost ten mógł być spowodowany także wcześniejszym przygotowaniem soku, zagęszczeniem w aparacie wyparnym, co mogło spowodować częściową degradację wielkocząsteczkowych struktur białek i tłuszczu zawartych w soku. W przypadku soku producenta B zaobserwowano wzrost wartości parametru b^* , czyli udziału barwy żółtej, z 19,70 do 25,84 przy wzroście zawartości ekstraktu w soku. Jednocześnie można zauważyć, że parametr chromatyczności b^* osiągnął wyższe wartości w soku producenta B, w porównaniu do wartości uzyskanych dla tych samych stężeń w soku producenta A.



Rys. 3. Parametr chromatyczności b^* w sokach marchwiowych przed i po obróbce ultradźwiękami. Wartości średnie oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$

Fig. 3. Chromaticity factor b^* in carrot juices before and after sonication. Mean values denoted with different letters differ statistically at $p = 0.05$

Obróbka ultradźwiękowa nie wpływała na zmianę barwy w sposób zauważalny dla oka ludzkiego, ponieważ żadna z wyznaczonych wartości bezwzględnej różnicy barwy (ΔE) nie przekroczyła wartości 5,0 (tab. 1), która to wartość uważana jest za graniczną, umożliwiającą rozróżnianie kolorów przez ludzkie oko (Zapotoczny

i Zielińska 2005, Wrolstad i Smith 2010). Najwyższa wartość bezwzględnej różnicy barwy ΔE wyniosła $1,20 \pm 0,66$ i została uzyskana w soku B, przy jego maksymalnym stężeniu (B21). Podobne zależności odnotowano, analizując zmiany nasycenia barwy. Jedynie dla soku B21 uzyskano wartość dodatnią różnicy stopnia nasycenia, co skutkowało wzrostem intensywności odbioru barwy soku. W każdym innym przypadku po zastosowaniu sonikacji nasycenie barwy soku uległo obniżeniu (wartość ujemna ΔC^*). Dodatkowo uzyskana niska dodatnia wartości różnicy tonu wskazywała na znikome różnice odchylenia barwy w kierunku barwy zielonej (tab. 1).

Tabela 1. Bezwzględna różnica barw, nasycenia i tonu pomiędzy sokami niepoddanym i poddanym działaniu US, w zależności od zawartości ekstraktu i rodzaju soku

Table 1. Total colour, saturation and tone differences between fresh and sonicated juice, depending on the extract and type of juice

Rodzaj i ekstrakt soku Producer and juice extract	Bezwzględna różnica barwy Total colour difference ΔE	Różnica nasycenia barwy Total saturation difference ΔC^*	Różnica tonu Total tone (hue) difference ΔH^*
A9	$0,44 \pm 0,04ab$	$-0,11 \pm 0,14b$	$0,16 \pm 0,08b$
A12	$0,82 \pm 0,11bc$	$-0,54 \pm 0,19ab$	$0,04 \pm 0,03a$
A21	$0,32 \pm 0,11a$	$-0,29 \pm 0,11b$	$0,05 \pm 0,04a$
B9	$1,04 \pm 0,33d$	$-0,87 \pm 0,45a$	$0,08 \pm 0,04ab$
B12	$0,28 \pm 0,14a$	$-0,20 \pm 0,15b$	$0,07 \pm 0,04a$
B21	$1,20 \pm 0,66d$	$1,19 \pm 0,66c$	$0,10 \pm 0,10ab$

Wartości średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się statystycznie istotnie przy $p = 0,05$
Mean values in columns denoted with different letters differ statistically at $p = 0.05$.

Tak małe zmiany różnicy nasycenia i tonu mogą wskazywać na niewielkie zmiany w strukturze składników soku marchwiowego, mających wpływ na postrzeganie barwy soku przed i po sonikacji. Dodatkowo można wysnuć wniosek minimalnego wpływu działania ultradźwięków na degradację barwników karotenoidowych, odpowiadających za barwę soku marchwiowego. Inną teorię prezentują Valero i in. (2007) oraz Zenker i in (2003). Stwierdzili oni iż na barwę soku pomarańczowego może wpływać ilości substancji stałych w nim zawarta oraz wielkości cząstek tych substancji.

Na podstawie wszystkich parametrów barwy stwierdzono, że sok producenta A o ekstrakcie 21°Brix oraz sok producenta B o ekstrakcie 12°Brix (odpowiednio A21

i B12), charakteryzowały się największą stabilnością, ponieważ żaden z parametrów barwy nie uległ istotnej zmianie po zastosowaniu ultradźwięków (rys. 1-3). Sok producenta A o najniższym ekstrakcie również charakteryzował się względnie dużą stabilnością barwy. W tym przypadku, pomimo spadku wartości jasności L^* , parametry chromatyczności a^* i b^* pozostały bez zmian. Brak zmian potwierdzają też najmniejsze wartości bezwzględnej różnicy barwy, nasycenia oraz minimalna zmiana różnicy tonu tych trzech soków (tab. 1). Po poddaniu działaniu ultradźwięków soku B o najniższym ekstrakcie, parametry L^* , a^* , b^* obniżyły się w istotnym stopniu, natomiast w soku o najwyższym ekstrakcie (B21), pomimo stabilnej jasności, udział barwy czerwonej i żółtej wzrósł. Wpłynęło to na największą zmianę barwy soku. Takie zmiany mogły być dodatkowo spowodowane wcześniejszym procesem zagęszczania, choć nie potwierdziły tego wyniki uzyskane dla soku producenta A o tym ekstrakcie (A21). Sala i in. (1995) stwierdził natomiast, że zaobserwowana zmiana barwy może być spowodowana występowaniem zjawiska kawitacji, które to zapoczątkowuje różne zmiany fizyczne, chemiczne i biologiczne, m. in.: wzrost dyfuzji, dyspersję agregatów lub załamanie niektórych cząstek. Z kolei według Suslick'a (1988) degradacja barwy może wynikać z uzyskiwanej wysokiej temperatury podczas procesu sonikacji, mogącej prowadzić do izomeryzacji karotenoidów (Chen i in. 1995), będących głównym barwnikiem soków marchwiowych. Jednakże w prezentowanych badaniach zmierzony wzrost temperatury był niewielki i wynosił 1-2°C, niezależnie od rodzaju soku i jego ekstraktu, co może sugerować, iż za zmianę barwy odpowiadać może proces kawitacji, powodujący degradację wielkości cząstek poprzez ich błyskawiczne przeniesienie w obrębie całej objętości i mogące powodować rozpad większych struktur (Suślik 1988, Kentish i Ashokkumar 2011). Jednakże ci sami autorzy stwierdzają, iż w wyniku oddziaływania ultradźwiękami o niskich częstotliwościach (20-100 kHz) nie następuje degradacja kwasów tłuszczowych i białek. Dodatkowo Ashokkumar i in. (2008) stwierdzają iż zmianom substancji podczas sonikacji zapobiega także obecność kwasu askorbinowego, który jest jednym ze składników soku marchwiowego. Skutki fizyczne oddziaływania ultradźwięków mogą być związane z większą turbulencją płynu w całej objętości, głównie w wyniku „kawitacji przejściowych”, czyli gwałtownych unoszeń i opadania mikropecherzyków całej cieczy (Suślik 1988, Ashokkumar i in. 2008, Kentish i Ashokkumar 2011).

WNIOSKI

1. Najmniejsze zmiany barwy uzyskały soki producenta A o zawartości ekstraktu 21°Brix oraz producenta B o ekstrakcie 12°Brix, ponieważ 30-minutowa obróbka dźwiękowa nie wpłynęła na wartości parametrów barwy $L^*a^*b^*$.

2. Względnie dobrą stabilność barwy wykazał także sok A o zawartości ekstraktu 9°Brix, gdyż pomimo spadku wartości jasności, współczynniki chromatyczności pozostały niezmienione.

3. Na podstawie wartości bezwzględnej różnicy barwy stwierdzono niezauważalne dla oka ludzkiego zmiany barwy w sokach.

PIŚMIENNICTWO

- Adekunte A.O., Tiwari B.K., Cullen P.J., Scannell A.G.M., O'Donnell C.P., 2010. Effect of sonication on colour, ascorbic acid and yeast inactivation in tomato juice. *Food Chem.*, 122, 500-507.
- Ashokkumar M., Sunartio D., Kentish S., Mawson R., Simons L., Vilku K., Versteeg C., 2008. Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Inn. Food Sci. Emerg. Technol.*, 9(2), 155-160.
- Chen B.H., Peng H.Y., Chen H.E., 1995. Changes of carotenoids, color and vitamin A contents during processing of carrot juice. *J. Agric. Food Chem.*, 43, 1912-1918.
- Chutintrasri B., Noomhorm A., 2007. Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing. *LWT- Food Sci. Technol.*, 40, 300-306.
- Dähne S.W., Swamy K.M., Keil F.J., 1999. A comparative study on the modeling of sound pressure field distributions in a sonoreactor with experimental investigation. *Ultrason. Sonochem.* 6, 221-226.
- Galus S., Lenart A., 2012. Wpływ emulsji tłuszczowej na właściwości optyczne filmów serwatkowych. *Acta Agrophysica*, 19(1), 29-36.
- Kentish S., Ashokkumar M., 2011. The Physical and Chemical Effects of Ultrasound. In: *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing* (Eds. Feng H., Barbosa-Cánovas G. V., Weiss J.), Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 1-12.
- Knorr D., Zenker M., Heinz V., Lee D., 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Sci. Technol.* 15, 261-266.
- Leighton T., 1998. The principles of cavitation. In: *Ultrasound in food processing* (Eds. M. J. W. Povey, T. J. Mason). London Blackie Academic and Professional. 151-178.
- Quitão-Teixeira L.J., Aguiló-Aguayo I., Ramos A.M., Martín-Bellos O., 2007. Inactivation of oxidative enzymes by high intensity pulsed electric field for retention of color in carrot juice. *Food Bioprocess Technol.*, 1(4), 364-373.
- Sala F.J., Burgos J., Condón S., López P., Raso J., 1995. Effect of heat and ultrasound on microorganisms and enzymes. In: *New methods of food preservation* (Ed. G. W. Gould). Bedford, London, Unilever Research Laboratory, Blackie Academic & Professional, 176-204.
- Suślik K.S., 1988. *Ultrasounds Its chemical, physical and biological effects*, In *Ultrasounds* (Ed. K. S. Suslick). New York: VHC.
- Śliwiński A., 2001. *Ultradźwięki i ich zastosowania*. WNT, Warszawa.
- Tiwari B.K., O'Donnell C.P., Muthukumarappan K., Cullen P.J., 2009. Effect of low temperature sonication on orange juice quality parameters using response surface methodology. *Food Bioprocess Technol.*, 2, 109-114.
- Valero M., Recrosio N., Saura D., Muñoz N., Martí N., Lizama V., 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *J. Food Eng.*, 80, 509-516.
- Wrolstad R.E., Smith D.E., 2010. Color Analysis. In: *Food Analysis* (Eds. Nielsen S. S.). Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 574-586.

- Zapotoczny P., Zielińska M., 2005. Rozważania nad metodyką instrumentalnego pomiaru barwy marchwi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1 (42), 121-132.
- Zenker M., Heinz V., Knorr D., 2003. Application of ultrasound assisted thermal processing for preservation and quality retention of liquid foods. *J. Food Protection* 66, 1642–1649.
- Zielińska M., Markowski M., 2012. Color characteristics of carrots; effect of drying and rehydration. *Int. J. Food Properties* 15, 450-466.

EFFECT OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE COLOUR STABILITY OF CARROT JUICES

Paweł Sakowski, Emilia Janiszewska

Department of Food Engineering and Process Management,
Faculty of Food Sciences, Warsaw University of Life Sciences-SGGW (WULS-SGGW)
ul. Nowoursynowska 159C, 02-776 Warszawa
e-mail: emilia_janiszewska@sggw.pl

Abstract. Ultrasound is a new method that has been used in the food industry for acceleration of unit operations such as drying, extraction and freezing. Sonication, despite its small invasiveness, has an effect on various physical, chemical and biochemical changes occurring in the materials. Colour is a very important parameter describing food, and a quality discriminant for the consumer and producer. The study investigated the effect of a 30-minute ultrasound treatment with a frequency of 21 kHz on the colour parameters changes of carrot juices from two producers with concentrations of 9, 12 and 21°Brix. The colour was measured in the $L^*a^*b^*$ system with calculation of the absolute colour difference, change in saturation, and tone (hue) of colour. There was no clear effect of extract content on the change of colour of juices treated with ultrasound. It was found that the juice extract from manufacturer A at 21°Brix and juice from manufacturer B with 12°Brix extract were characterised by the highest stability to the ultrasound. Juice colour changes after application of ultrasound were not detectable by the human eye. There were also no significant changes in the difference in colour saturation and tone between juices before and after sonication.

Keywords: carrot juice, colour, ultrasound