

Grażyna BORTNOWSKA

WPŁYW NOŚNIKA AROMATU KMINKOWEGO NA UWALNIANIE SIĘ KARWONU I LIMONENU Z EMULSJI O/W W ZALEŻNOŚCI OD RODZAJU EMULGATORA

INFLUENCE OF CARAWAY AROMA CARRIER ON THE CARVONE AND LIMONENE RELEASE DEPENDING ON EMULSIFIER TYPE

Katedra Technologii Żywności, Akademia Rolnicza w Szczecinie
ul. Papieża Pawła VI nr 3, 71-459 Szczecin

Abstract Static headspace analyses showed that caraway aroma carriers (ethanol, propylene glycol and vegetable oil) as well as emulsifiers (albumin, dried egg, dried egg yolk, sodium dodecyl sulfate – SDS and its mixtures with glycerol monostearate) changed statistically significant release of carvone and limonene from flavoured emulsions containing 10% of oil. The highest release of carvone and limonene to the headspace was found in emulsions aromatized with flavouring containing ethanol as the aroma compounds carrier and the lowest when oil as the carrier was applied. Addition of dried egg yolk clearly decreased quantity of the aroma compounds released to the headspace in comparison to the samples stabilized by albumin similarly as mixtures of SDS with glycerol monostearate in relation to the samples containing only SDS. A very good similarity between results from static headspace and sensory odour intensity analyses was indicated in all samples with addition of flavouring containing oil as the aroma compounds carrier.

Słowa kluczowe: analiza równowagowej fazy gazowej, emulgatory spożywcze, emulsja typu o/w, intensywność zapachu, nośniki aromatów.

Key words: aroma compounds carriers, food emulsifiers, odour intensity, oil-in-water emulsion, static headspace analysis.

WSTĘP

Zapach żywności, który jest bardzo ważnym wyróżnikiem jakości i podstawowym warunkiem akceptacji produktu przez konsumenta (Teff 1996; Taylor i in. 2001), kształtuje się między innymi poprzez dodatek przypraw, a w przemysłowej produkcji głównie aromatów spożywczych, z uwagi na ich sterylność oraz standaryzowaną moc (Giese 1994). Aromaty wprowadza się do żywności w postaci płynnej, półpłynnej lub stałej, rozpuszczone na przykład: w oleju roślinnym, glikolu propylenowym, etanolu lub naniesione na maltodekstryny, skrobie albo zamknięte w mikrokapsułkach (PN-A-86946; Reineccius 2006). Dobór nośnika (rozpuszczalnika) zależy od właściwości fizykochemicznych aromatu oraz warunków procesu technologicznego jakiemu będzie poddawany (Brud 1995), co ma szczególne znaczenie w aromatyzacji żywności o znacznie zredukowanej zawartości tłuszczu, w której niewielka ilość rozpuszczalnika niepolarnego wprowadzonego wraz z przyprawą może zmieniać proces uwalniania się substancji zapachowych (de Roos 1997; Brauss i in. 1999; Bortnowska 2005). Żywność niskotłuszczowa w większości ma charakter emulsji typu olej w wodzie (o/w) (Leman

i Kinsella 1989; Krygier 1992), której przykładem są: majonezy, sosy, dresingi, kefiry, jogurty, przygotowywane z użyciem zarówno naturalnych jak i syntetycznych substancji powierzchniowo-czynnych (Mine 1998 a, b; Stauffer 2001). W zależności od rodzaju zastosowanych emulgatorów można znacznie zmieniać właściwości fizykochemiczne emulsji (Bortnowska 2008), co wpływa na zakres uwalniania się z nich substancji zapachowych (de Roos 2003), który to proces omawiany jest najczęściej w odniesieniu do wyizolowanych związków chemicznych lub ich mieszanin (van Ruth i in 2002 a, b; Weel i in. 2004). W dostępnej literaturze nie spotkano prac badawczych z użyciem typowych aromatów spożywczych stosowanych do aromatyzacji emulsji o stosunkowo niskiej w odniesieniu do majonezów zawartości tłuszczu, uwzględniających rodzaj nośnika substancji zapachowych.

Celem pracy była ocena wpływu: etanolu, glikolu propylenowego oraz oleju roślinnego, jako nośników aromatu kminkowego na uwalnianie się karwonu i limonenu, z emulsji o/w stabilizowanych naturalnymi lub syntetycznymi substancjami emulgującymi.

MATERIAŁ I METODY

Surowiec

Do badań użyto: emulgatory naturalne (albumina jaja kurzego, żółtko jaja oraz jaja w proszku, zakupione w Hortimex[®] Sp. z o.o., Konin); emulgatory syntetyczne (dodecylosiarczan sodu – SDS, zakupiony w Sigma-Aldrich Sp. z o.o., Poznań oraz monostearynian glicerolu – Verol N-90, E 471 uzyskany z Hortimex[®] Sp. z o.o., Konin); płynny, naturalny aromat spożywczy na trzech różnych nośnikach (etanolu, glikolu propylenowym i oleju rzepakowym), zawierający 6% olejku eterycznego – kminkowego oraz 94% rozpuszczalnika, otrzymany bezpośrednio od producenta (Fabryka Substancji Zapachowych „Pollena-Aroma”, Warszawa); olej rzepakowy „Kujawski” (Zakłady Tłuszczowe, Kruszwica), kupowany w miarę potrzeb w handlu detalicznym.

Przygotowanie emulsji o/w

Emulsje o/w przygotowywano poprzez zdyspergowanie oleju w wodzie destylowanej, przy użyciu homogenizatora typu MPW-302, firmy Mechanika Precyzyjna (Warszawa), stosując $14\,000\text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ przez 30 sekund. Wszystkie emulsje zawierały 10% (w/w) oleju roślinnego oraz 1% (w/w) emulgatora naturalnego lub mieszaniny emulgatorów syntetycznych w proporcji SDS i monostearynian glicerolu jak: 25/75 lub 50/50 (w/w), które oznaczono symbolami odpowiednio: SDS+MSG 25/75 lub SDS+MSG 50/50. Składniki emulsji rozpuszczano w oleju lub wodzie bezpośrednio przed jej przygotowaniem. Kwasowość czynną (pH) układów emulsyjnych utrzymywano na poziomie 5–5,5 poprzez dodatek 1% kwasu cytrynowego. W celu usunięcia powietrza próby odgazowywano w suszarce próżniowej typu APT Line Serie VD, firmy Binder GmbH, a następnie aromatyzowano poprzez dodatek aromatu kminkowego w ilości 0,1% (v/v), łagodnie mieszając.

Analiza równowagowej fazy gazowej nad emulsją

Badania wykonywano z wykorzystaniem chromatografu gazowego sprzężonego z spektrometrem mas (GC-MS) i automatycznym zestawem do dozowania prób, model Turbo Matrix 16, firmy Perkin Elmer International C. V (Szwajcaria). Do analizy pobierano 5 cm^3

aromatyzowanej emulsji, którą ogrzewano przez 15 min w temp. 70°C. Rozdziału dokonywano w kolumnie kapilarnej PE-SMS (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm) w zmiennej temperaturze 50–150°C o gradiencie przyrostu 10°C · min⁻¹, stosując gaz nośny hel, przepływ przez kolumnę 0,7 cm³ · min⁻¹. Identyfikacji substancji zapachowych aromatu kminkowego dokonywano na podstawie analizy chromatogramu jonowego (TIC) przez porównanie wybranych widm masowych rozdzielonych związków z widmami standardów oraz z biblioteką widm Wileya (Kolb i Ettre 1997). Różnice w uwalnianiu się karwonu i limonenu z emulsji o/w oceniano poprzez porównanie pól powierzchni pików chromatograficznych (Relkin i in. 2004).

Pomiar lepkości

Lepkość pozorną mierzono na aparacie Rheotest 2–50 Hz, typ RV2 (Niemcy) przy stałej szybkości ścinania $D_r = 1312 \text{ [s}^{-1}\text{]}$ używając zestaw pomiarowy S/S1.

Analiza sensoryczna

Intensywność zapachu drogą ortonosową (ang. *orthonasally*) aromatyzowanych emulsji oceniano metodą skalowania (PN-ISO 4121), stosując 10-punktową skalę graficzną, naniesioną na odcinku prostej z zaznaczonymi wartościami: 0 – zapach niewyczuwalny, 9 – zapach o maksymalnej intensywności. Ocenę sensoryczną wykonywał 7–9 osobowy zespół, spełniający podstawowe wymagania w zakresie wrażliwości sensorycznej (PN-ISO 3972), w warunkach zgodnych z zaleceniami PN-ISO 8589, którego skład podczas trwania badań zmieniał się tylko nieznacznie.

Analiza statystyczna

Badania w zakresie analizy chromatograficznej i sensorycznej wykonywano w dwóch, a pomiar lepkości w trzech niezależnych powtórzeniach dla każdej emulsji. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy użyciu programu komputerowego Statistica®6.0, stosując jedno- lub dwuczynnikową analizę wariancji.

WYNIKI I DYSKUSJA

W celu wyeliminowania dominującego oddziaływania tłuszczu na uwalnianie się substancji zapachowych aromatu kminkowego do badań użyto emulsje o/w zawierające 10% oleju (de Roos 1997; Harrison i in. 1997), które stabilizowano typowymi emulgatorami stosowanymi w produkcji żywności oraz wprowadzonymi eksperymentalnie, takimi jak dodecylosiarczan sodu i jego mieszaniny z monostearynianem glicerolu dlatego, że SDS jest anionową substancją powierzchniowo-czynną, o małej masie cząsteczkowej, znacznie wpływającą na właściwości fizykochemiczne dyspersji olejowo-wodnych (Fairley i in. 1996; Lu i Lundahl 1996).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono obecność w warstwie nadpowierzchniowej aromatyzowanych emulsji głównie karwonu i limonenu, najważniejszych składników aromatu kminkowego (Klimek 1957; Strzelecka i in 1982; Zawirska-Wojtasiak i Wąsowicz 2000), co obrazują chromatogramy substancji zapachowych przedstawione na przykładzie prób z dodatkiem aromatu na nośniku olejowym (rys. 1) z których wynika, że w procesie przygotowywania emulsji o/w raczej nie powstawały lotne substancje zmieniające ich profil zapachu na skutek między innymi interakcji użytych emulgatorów

zarówno naturalnych jak i syntetycznych z aromatami lub ewentualnego oddziaływania środowiska wodnego w kierunku rozkładu tych aromatów (Reineccius 2006). Porównanie natomiast pól powierzchni pików chromatograficznych karwonu i limonenu wykazało wysoką statystycznie istotną zależność ($\alpha \leq 0,001$) pomiędzy rodzajem zastosowanego emulgatora oraz nośnika, a ilością uwolnionego aromatu z emulsji, chociaż zdecydowanie bardziej na ten proces oddziaływał rodzaj nośnika niż emulgatora, natomiast interakcje rodzaj emulgatora $\times$ rodzaj nośnika we wszystkich analizowanych układach były zbliżone względem siebie (tab. 1). Stosunkowo wysokie oddziaływanie rodzaju nośnika na uwalnianie się lipofilowego karwonu i limonenu może być związane z polarnością rozpuszczalnika aromatu, która jest czynnikiem w zasadniczy sposób wpływającym na zakres absorpcji substancji zapachowych (Reineccius 2006). Przypuszczalnie dlatego, zastosowane w badaniach nośniki: alkohol etylowy, glikol propylenowy oraz olej roślinny wywierały znacznie większy wpływ na stan równowagi termodynamicznej pomiędzy fazą gazową i emulsją niż emulgatory, które na proces ten w większości oddziałują jedynie w sposób pośredni (Akoh 1998). Najwyższe uwalnianie się karwonu i limonenu do warstwy nadpowierzchniowej obserwowano w emulsjach aromatyzowanych aromatem na nośniku etanolowym, a najniższe z dodatkiem aromatu na nośniku olejowym, niezależnie od rodzaju użytego emulgatora (rys. 2 i 3). Z emulsji aromatyzowanych aromatem kminkowym na oleju roślinnym uwalnianie się karwonu było 2,5-krotnie, a limonenu 2-krotnie niższe niż z tych samych prób aromatyzowanych aromatem na glikolu propylenowym i etanolu. Znacznie mniejsza ilość substancji zapachowych, uwalnianych z układów aromatyzowanych aromatem na nośniku olejowym niż nośnikach alkoholowych, wynikała prawdopodobnie z tego, że składniki aromatu kminkowego rozpuszczone w oleju roślinnym zdecydowanie wolniej dyfundowały do fazy gazowej niż rozpuszczone w etanolu lub glikolu propylenowym (de Roos 2003). Dodatek natomiast emulgatorów powodował statystycznie istotne różnice w uwalnianiu się karwonu i limonenu z większości emulsji o/w zarówno pomiędzy, jak i w obrębie prób stabilizowanych naturalnymi lub syntetycznymi substancjami powierzchniowo-czynnymi. Największe różnice w ilości badanych substancji zapachowych uwalnianych do fazy gazowej zauważono pomiędzy emulsjami zawierającymi albuminę lub żółtko jaja w proszku oraz SDS lub jego mieszaninę z monostearynianem glicerolu 50/50 (w/w), które wynosiły w próbach aromatyzowanych aromatem olejowym dla karwonu: 36,9 i 60,8%, a w próbach aromatyzowanych aromatem na glikolu propylenowym dla limonenu odpowiednio: 32,9 i 60,7% (rys. 2 i 3). Zmniejszone uwalnianie się karwonu i limonenu z emulsji stabilizowanych kolejno: albuminą, jajem w proszku lub żółtkiem jaja w proszku oraz SDS-em lub jego mieszaninami z coraz większym udziałem monostearynianu glicerolu można tłumaczyć niewielkim wzrostem stężenia fazy lipidowej w badanych układach emulsyjnych, ponieważ żółtko jaja jest wieloskładnikowym emulgatorem, w którym najważniejszym komponentem wykazującym właściwości powierzchniowo-czynne jest frakcja lipoproteinowa zawierająca 86–89% lipidów (Mine 1998 a), natomiast monostearynian glicerolu należy do lipidowych związków powierzchniowo-czynnych zwiększających hydrofobowość układu (Stauffer 2001). Przyczyną zmniejszonego uwalniania się karwonu i limonenu z emulsji stabilizowanych żółtkiem jaja w proszku lub mieszaniną SDS-u i monostearynianu glicerolu w proporcji 50/50 mógł być także znaczny wzrost lepkości

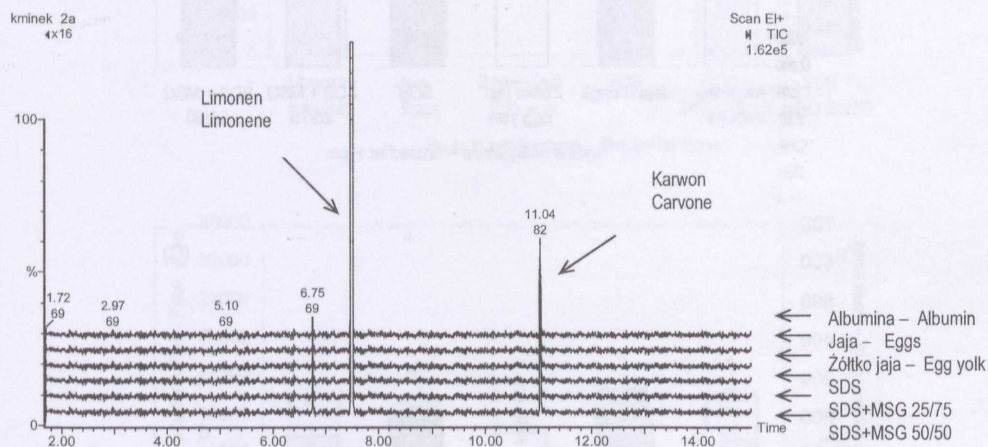
układu w porównaniu do prób stabilizowanych pozostałymi naturalnymi i syntetycznymi emulgatorami (rys. 4). Zauważone nieznaczne i w większości statystycznie nieistotne różnice, w stabilności pomiędzy próbami z dodatkiem żółtka jaja w proszku oraz SDS-u w mieszaninie z monostearynianem glicerolu, mogą sugerować możliwość częściowego lub całkowitego zastąpienia żółtka jaja w produkcji emulsji spożywczych typu o/w o zmniejszonej zawartości cholesterolu, aromatyzowanych lipofilowymi substancjami zapachowymi.

Tabela 1. Wyniki analizy wariancji dwuczynnikowej dotyczące oceny wpływu rodzaju emulgatora i nośnika aromatu na uwalnianie się karwonu i limonenu z emulsji o/w

Table 1. ANOVA table of the effects of emulsifier and aroma carrier type on carvone and limonene release from oil-in-water emulsions

Substancja zapachowa Aroma compound	Rodzaj emulgatora Emulsifier type			Rodzaj nośnika Carrier type			Rodzaj emulgatora × rodzaj nośnika Emulsifier type × carrier type		
	F	α	df	F	α	df	F	α	df
Karwon Carvone	60,66	***	5	770,87	***	2	8,17	***	10
Limonen Limonene	97,04	***	5	476,45	***	2	14,95	***	10

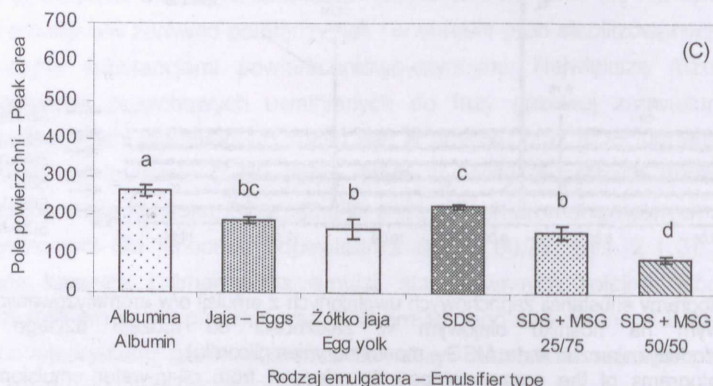
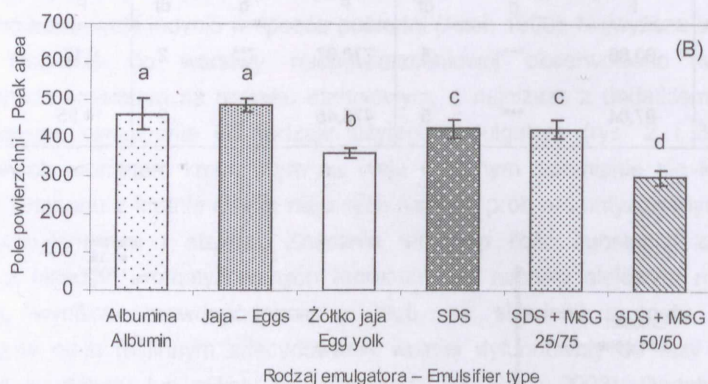
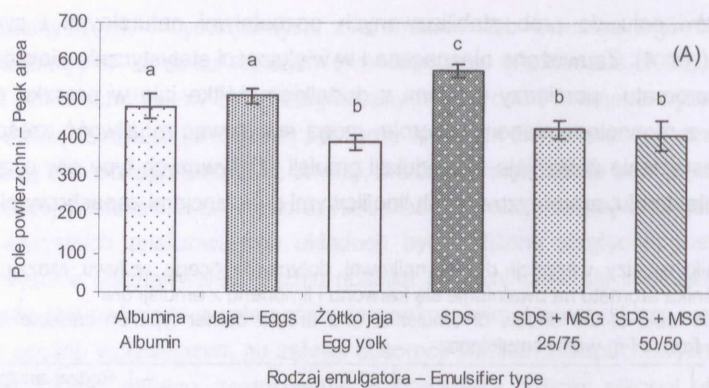
*** $\alpha \leq 0,001$.



Rys. 1. Chromatogramy substancji zapachowych uwolnionych z emulsji o/w aromatyzowanych aromatem kminkowym na nośniku olejowym w zależności od rodzaju użytego emulgatora (SDS – dodecylosiarczan sodu; MSG – monostearynian glicerolu)

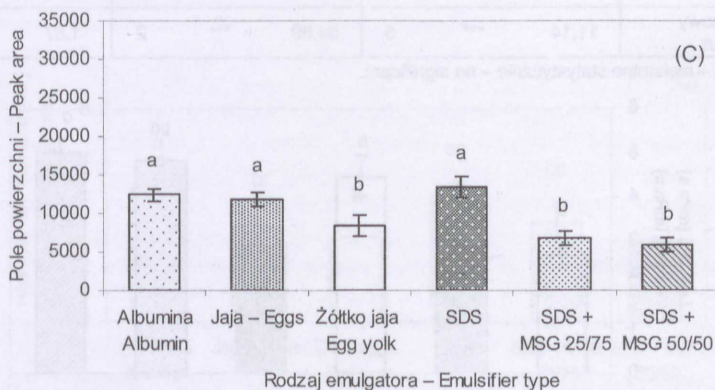
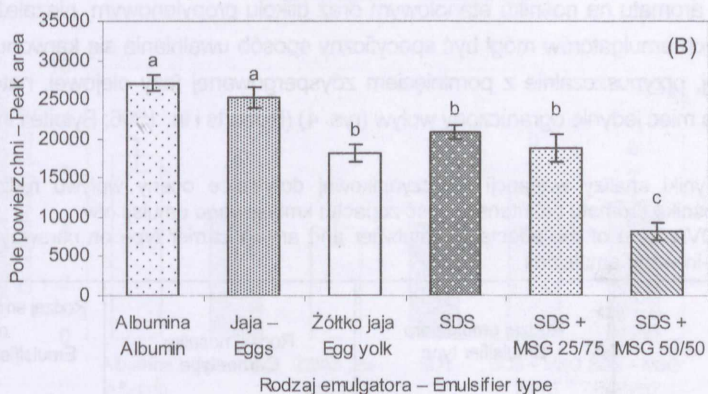
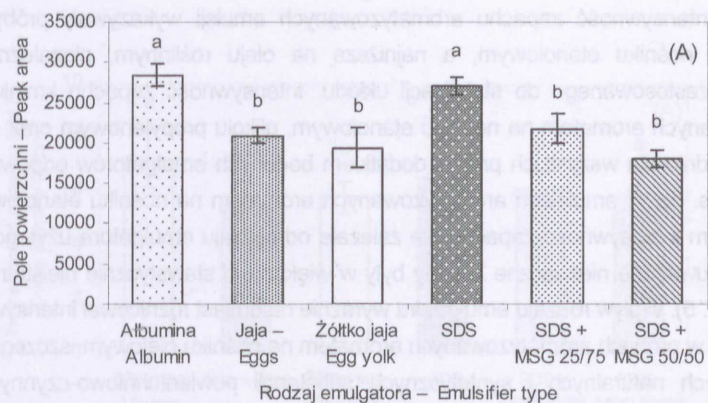
Fig. 1. Chromatograms of the aroma compounds released from oil-in-water emulsions, flavoured with caraway flavouring containing oil as the carrier depending on the type of emulsifier applied (SDS – sodium dodecyl sulfate; MSG – glycerol monostearate)

Ocena sensoryczna intensywności zapachu aromatyzowanych emulsji podobnie jak w metodzie instrumentalnej zależała w sposób wysoce statystycznie istotny zarówno od rodzaju nośnika aromatu kminkowego jak i emulgatora (rys. 5), chociaż rodzaj nośnika tylko w nieznacznym stopniu bardziej wpływał na postrzeganie zapachu niż rodzaj emulgatora (tab. 2).



Rys. 2. Uwalnianie się karwonu z emulsji typu o/w w zależności od rodzaju emulgatora oraz nośnika aromatu kminkowego na: etanolu – (A), glikolu propylenowym – (B) lub oleju roślinnym – (C). Średnie oznaczone tymi samymi literami oznaczają brak istotnej różnicy na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Fig. 2. Release of carvone from oil-in-water emulsions depending on the emulsifier type and aroma caraway carrier: ethanol – (A), propylene glycol – (B) or vegetable oil – (C). Means marked with the same letters are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level



Rys. 3. Uwalnianie się limonenu z emulsji typu o/w w zależności od rodzaju emulgatora oraz nośnika aromatu kminkowego na: etanolu – (A), glikolu propylenowym – (B) lub oleju roślinnym – (C). Średnie oznaczone tymi samymi literami oznaczają brak istotnej różnicy na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Fig. 3. Release of limonene from oil-in-water emulsions depending on the emulsifier type and aroma caraway carrier: ethanol – (A), propylene glycol – (B) or vegetable oil – (C). Means marked with the same letters are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level

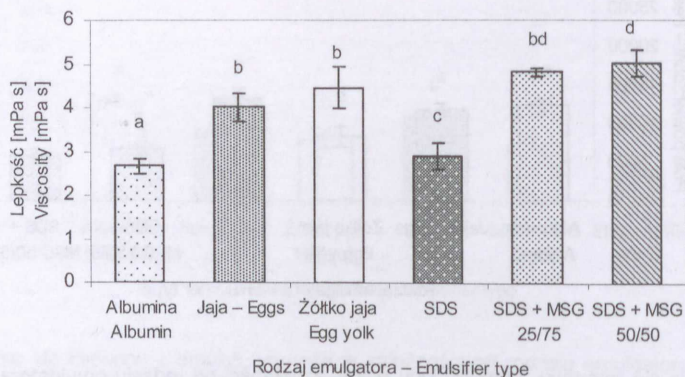
Najwyższą intensywność zapachu aromatyzowanych emulsji wykazywały próby z dodatkiem aromatu na nośniku etanolowym, a najniższą na oleju roślinnym, niezależnie od rodzaju emulgatora zastosowanego do stabilizacji układu. Intensywność zapachu kminkowego emulsji aromatyzowanych aromatem na nośniku etanolowym, glikolu propylenowym oraz oleju roślinnym wynosiła średnio dla wszystkich prób z dodatkiem badanych emulgatorów odpowiednio: 6,2; 5,1 i 4,0 pkt. (rys. 5). W emulsjach aromatyzowanych aromatem na nośniku etanolowym lub glikolu propylenowym intensywność zapachu nie zależała od rodzaju emulgatora użytego do stabilizacji układu, a zauważone nieznaczne zmiany były w większości statystycznie nieistotne na poziomie $\alpha \leq 0,05$ (rys. 5). Wpływ rodzaju emulgatora wyraźnie natomiast różnicował intensywność zapachu kminkowego w próbach aromatyzowanych aromatem na nośniku olejowym, szczególnie w obrębie zastosowanych naturalnych i syntetycznych substancji powierzchniowo-czynnych. Przyczyną niewielkich różnic w ocenie sensorycznej aromatyzowanych emulsji, szczególnie w próbach z dodatkiem aromatu na nośniku etanolowym oraz glikolu propylenowym, niezależnie od rodzaju zastosowanych emulgatorów mógł być specyficzny sposób uwalniania się karwonu i limonenu do fazy gazowej, przypuszczalnie z pominięciem zdyspergowanej fazy olejowej, natomiast lepkość układu mogła mieć jedynie ograniczony wpływ (rys. 4) (Roberts i in. 1996; Bylaite i in. 2003).

Tabela 2. Wyniki analizy wariancji dwuczynnikowej dotyczące oceny wpływu rodzaju emulgatora i nośnika aromatu na intensywność zapachu kminkowego emulsji o/w

Table 2. ANOVA table of the effects of emulsifier and aroma carrier type on caraway odour intensity of oil-in-water emulsions

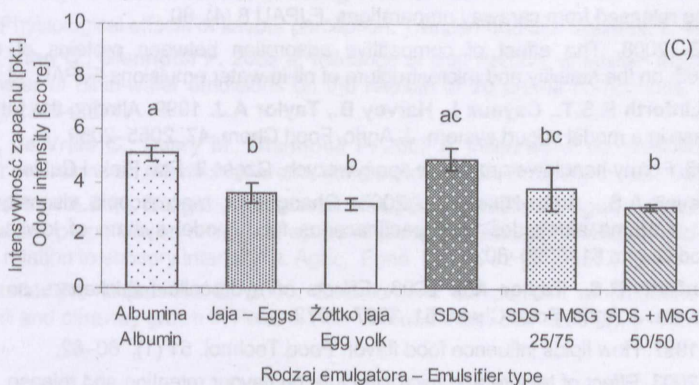
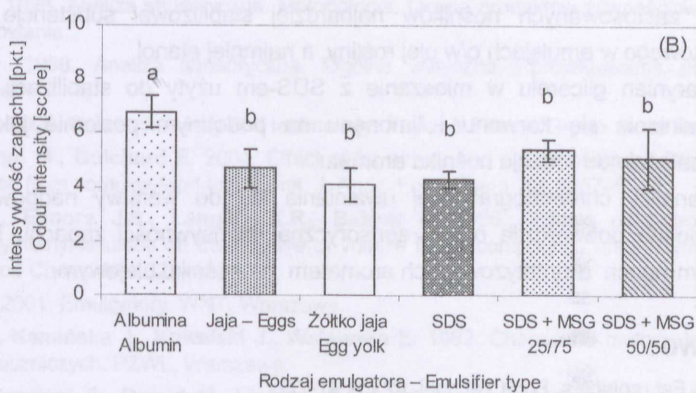
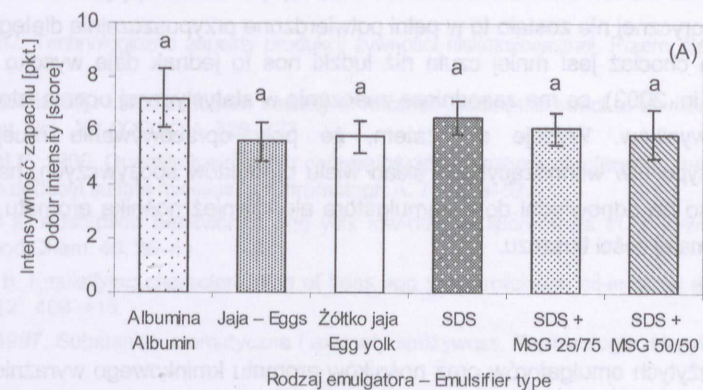
Zapach Odour	Rodzaj emulgatora Emulsifier type			Rodzaj nośnika Carrier type			Rodzaj emulgatora × rodzaj nośnika Emulsifier type × carrier type		
	F	α	df	F	α	df	F	α	df
Zapach kminkowy Caraway odour	11,14	***	5	54,89	***	2	1,87	ns	10

*** $\alpha \leq 0,001$; ns – nieistotne statystycznie – no significant.



Rys. 4. Lepkość emulsji typu o/w w zależności od rodzaju emulgatora. Średnie oznaczone tymi samymi literami oznaczają brak istotnej różnicy na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Fig. 4. Viscosity of oil-in-water emulsions depending on the emulsifier type. Means marked with the same letters are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level



Rys. 5. Intensywność zapachu emulsji typu o/w w zależności od rodzaju emulgatora oraz nośnika aromatu kminkowego na: etanolu – (A), glikolu propylenowym – (B) lub oleju roślinnym – (C). Średnie oznaczone tymi samymi literami oznaczają brak istotnej różnicy na poziomie $\alpha \leq 0,05$

Fig. 5. Odour intensity of oil-in-water emulsions depending on the emulsifier type and aroma caraway carrier: ethanol – (A), propylene glycol – (B) or vegetable oil – (C). Means marked with the same letters are not significantly different at the $p \leq 0.05$ level

Wynika z powyższego, że zarówno rodzaj emulgatora jak i nośnika aromatu wpływają na uwalnianie się karwonu i limonenu z układów emulsyjnych zawierających 10% oleju, chociaż w ocenie sensorycznej nie zostało to w pełni potwierdzone przypuszczalnie dlatego, że analiza instrumentalna chociaż jest mniej czuła niż ludzki nos to jednak daje wysoko powtarzalne wyniki (Cook i in. 2003), co ma zasadnicze znaczenie w statystycznej ocenie istotności różnic uzyskanych wyników. Wydaje się zatem, że przy opracowywaniu receptur emulsji spożywczych typu o/w wchodzących w skład wielu produktów spożywczych, należy zwrócić uwagę nie tylko na odpowiedni dobór emulgatora ale również nośnika aromatu, szczególnie w układach o małej ilości tłuszczu.

WNIOSKI

1. Rodzaj użytych emulgatorów oraz nośników aromatu kminkowego wyraźnie wpływał na ilościowe zmiany w uwalnianiu się karwonu i limonenu z badanych emulsji o/w.
2. Spośród zastosowanych nośników najbardziej stabilizował substancje zapachowe aromatu kminkowego w emulsjach o/w olej roślinny, a najmniej etanol.
3. Monostearynian glicerolu w mieszaninie z SDS-em użyty do stabilizacji emulsji o/w zmniejszał uwalnianie się karwonu i limonenu na podobnym poziomie jak żółtko jaja w proszku, niezależnie od rodzaju nośnika aromatu.
4. Wyniki analizy chromatograficznej uwalniania się do warstwy nadpowierzchniowej karwonu i limonenu potwierdziła ocena sensoryczna intensywności zapachu kminkowego, najbardziej w emulsjach aromatyzowanych aromatem na nośniku olejowym.

PIŚMIENNICTWO

- Akoh C.C. 1998. Fat replacers. *Food Technol.* 52 (3), 47–53.
- Bortnowska G. 2005. Influence of oil substitution by inulin on the headspace concentrations of carvone and limonene released from caraway preparations. *EJPAU* 8 (4), 80.
- Bortnowska G. 2008. The effect of competitive adsorption between proteins of dried egg yolk and Tween 65 on the stability and microstructure of oil-in-water emulsions *EJPAU* 11 (3), 01.
- Brauss M.S., Linforth R.S.T., Cayeux I., Harvey B., Taylor A.J. 1999. Altering the fat content affects flavour release in a model yogurt system. *J. Agric. Food Chem.* 47, 2055–2059.
- Brud W.S. 1995. Formy handlowe aromatów spożywczych. Część II. *Prz. Piek. i Cukier.* 1, 14–16.
- Bylaite E., Meyer A.S., Adler-Nissen J. 2003. Changes in macroscopic viscosity do not affect the release of aroma aldehydes from pectinaceous food model system of low sucrose content. *J. Agric. Food Chem.* 51, 8020–8026.
- Cook D.J., Linforth R.S., Taylor A.J. 2003. Effects of hydrocolloid thickeners on the perception of savory flavors. *J. Agric. Food Chem.* 51, 3067–3072.
- De Roos K.B. 1997. How lipids influence food flavor. *Food Technol.* 51 (1), 60–62.
- De Roos K.B. 2003. Effect of texture and microstructure on flavour retention and release. *Int. Dairy J.* 13, 593–605.
- Fairley P., Monahan F.J., German J.B., Krochta J.M. 1996. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films from whey protein isolate and sodium dodecyl sulfate. *J. Agric. Food Chem.* 44, 438–443.
- Giese J. 1994. Spices and seasoning blends: a taste for all seasons. *Food Technol.* 4, 88–90.
- Harrison M., Hills B.P., Bakker J., Clothier T. 1997. Mathematical models of flavor release from liquid emulsions. *J. Food Sci.* 62 (4), 653–658, 664.

- Klimek R.** 1957. Olejki eteryczne. Wydaw. Przemysłu Lekkiego i Spożywczego, Warszawa.
- Kolb B., Ettre L.S.** 1997. Static headspace-gas chromatography, theory and practice. Wiley-VCH. Inc. New York.
- Krygier K.** 1992. Technologiczne aspekty produkcji żywności niskokalorycznej. *Przem. Spoż.* XLVI (5–6), 129–131.
- Leman J., Kinsella J.E.** 1989. Emulsion stability of micellar casein; the effect of environmental factors. *Acta Aliment. Pol.* XV (XXXIX) 4, 329–337.
- Lu L., Lundahl P.** 1996. Quantitative micellar chromatographic analysis of interaction between peptides and sodium dodecyl sulfate micelles. *J. Chromatogr. A.* 741, 49–57.
- Mine Y.** 1998 a. Adsorption behavior of egg yolk low-density lipoproteins in oil-in-water emulsions. *J. Agric. Food Chem.* 46, 36–41.
- Mine Y.** 1998 b. Emulsifying characterization of hens egg yolk proteins in oil-in-water emulsions. *Food Hydrocoll.* 12, 409–415.
- PN-A-86946.** 1997. Substancje aromatyczne i aromaty spożywcze. Terminologia, klasyfikacja i metody badań.
- PN-ISO 3972.** 1998. Analiza sensoryczna – Metodologia – Metoda sprawdzania wrażliwości smakowej.
- PN-ISO 4121.** 1998. Analiza sensoryczna. Metodologia. Ocena produktów żywnościowych przy użyciu metod skalowania.
- PN-ISO 8589.** 1998. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne projektowania pracowni analizy sensorycznej.
- Reineccius G.** 2006. Flavor chemistry and technology. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
- Relkin P., Fabre M., Guichard E.** 2004. Effect of fat nature and aroma compound hydrophobicity on flavor release from complex food emulsions. *J. Agric. Food Chem.* 52, 6257–6263.
- Roberts D.D., Elmore J.S., Langley K.R., Bakker J.** 1996., Effects of sucrose, guar gum, and carboxymethylcellulose on the release of volatile flavor compounds under dynamic conditions. *J. Agric. Food Chem.* 44, 1321–1326.
- Stauffer C.E.** 2001. Emulgatory. WNT, Warszawa.
- Strzelecka H., Kamińska J., Kowalski J., Walewska E.** 1982. Chemiczne metody badań roślinnych surowców leczniczych. PZWŁ, Warszawa.
- Taylor A.J., Besnard S., Puaud M., Linforth R.S.T.** 2001. *In vivo* measurement of flavour release from mixed phase gels. *Biomolecular Engineering* 17, 143–150.
- Teff K.L.** 1996. Physiological effects of flavour perception. *Trends Food Sci. Technol.* 7, 448–452.
- Van Ruth S.M., King C., Giannouli P.** 2002 a. Influence of lipid fraction, emulsifier fraction, and mean particle diameter of oil-in-water emulsions on the release of 20 aroma compounds. *J. Agric. Food Chem.* 50 (8), 2365–2371.
- Van Ruth S.M., de Vries G., Geary M., Giannouli P.** 2002 b. Influence of composition and structure of oil-in-water emulsions on retention of aroma compounds. *J. Sci. Food Agric.* 82, 1028–1035.
- Weel K.G.C., Boelrijk A.E.M., Burger J.J., Jacobs M.A., Gruppen H., Voragen A.G.J., Smit G.** 2004. Effect of emulsion properties on release of esters under static headspace, *in vivo*, and artificial throat conditions in relation to sensory intensity. *J. Agric. Food Chem.* 52 (21), 6572–6577.
- Zawirska-Wojtasiak R., Wąsowicz E.** 2000. Enantiomeric composition of limonene and carvone in seeds of dill and caraway grown in Poland. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 9/50 (3), 9–13.