

MAŁGORZATA KOWALSKA, PIOTR LUDWIŃSKI, ANNA ŻBIKOWSKA,  
EVA IVANIŠOVÁ

## WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE MODELOWYCH UKŁADÓW EMULSYJNYCH ZWIERAJĄCYCH OLEJ ZE SŁODKICH MIGDAŁÓW, LECYTYNĘ I $\beta$ -GLUKAN

### Streszczenie

**Wprowadzenie:** Emulsje są układami nietrwałymi. W celu ich stabilizacji stosuje się m.in. różne substancje chemiczne i związki pochodzenia naturalnego, które poza stabilizacją układów polepszają ich właściwości fizykochemiczne oraz podwyższają wartość odżywczą produktu finalnego. Celem pracy była analiza wpływu dodatku lecytyny i  $\beta$ -glukanu na parametry tekstury, barwy, stabilność fizyczną oraz mikrostrukturę układów emulsyjnych zawierających olej ze słodkich migdałów. Badano emulsje zawierające różny stosunek lecytyny i  $\beta$ -glukanu, analizując ich teksturę, barwę, stabilność i mikrostrukturę. Do pomiaru siły adhezji i twardości wytworzonych emulsji wykorzystano analizator tekstury Texture Analyser CT3. Barwę wytworzonych emulsji określono za pomocą kolorymetru CR400 firmy Konica Minolta. Natomiast do określenia zmian destabilizacyjnych zachodzących w wytworzonych emulsjach wykorzystano analizator Turbiscan Lab. Mikroskop optyczny Genetic Pro Trino sprzężony z kamerą został wykorzystany do określenia mikrostruktury emulsji.

**Wyniki i wnioski:** Uzyskane wyniki potwierdziły wpływ dodatku obu stabilizatorów, zarówno rodzaju, jak i zmiennych ich ilości. Stwierdzono, że zastosowanie jednego ze stabilizatorów ( $\beta$ -glukanu) było niewystarczające do uzyskania trwałego układu emulsyjnego. Najwyższą fizyczną stabilnością cechował się układ emulsyjny, zawierający samą lecytynę. W układach, gdzie stabilizatorami były lecytyna i  $\beta$ -glukan (w różnych stężeniach), nie uzyskano satysfakcjonującej stabilności. Uzyskane wyniki dowodzą celowości prowadzenia badań nad układami emulsyjnymi z dwoma różnymi substancjami stabilizującymi oraz konieczności kontynuacji prac dotyczących wpływu układu tego typu dodatków stosowanych w zmiennych proporcjach. Taka reformulacja składu może być istotnym czynnikiem podwyższającym stabilność fizyczną układów emulsyjnych oraz zwiększającym ich wartość żywieniową.

**Słowa kluczowe:** emulsje,  $\beta$ -glukan, lecytyna, Turbiscan, stabilność emulsji

---

*Prof. dr hab. inż. M. Kowalska ORCID: 0000-0001-8947-2861, inż. P. Ludwiński ORCID: 0009-0002-0748-4434, Katedra Zarządzania i Jakości Produktu, Wydział Chemii Stosowanej, Uniwersytet Radomski im. Kazimierza Pułaskiego, ul. Bolesława Chrobrego 2, 26-600 Radom; prof. dr hab. A. Żbikowska ORCID: 0000-0001-7013-4520, Katedra Technologii i Oceny Żywności, Instytut Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa; Ing. Ph.D. E. Ivanišová, ORCID: 0000-0001-5193-2957, Department of Technology and Quality of Plant Products, Faculty of Biotechnology and Food Science, Slovak University of Nitra, Slovakia. Kontakt e-mail: m.kowalska@uthrad.pl*

## Wstęp

W celu uzyskania stabilnych układów dyspersyjnych stosowane są różnego rodzaju dodatki pochodzenia naturalnego lub syntetycznego, które polepszają również właściwości użytkowe emulsji, znajdujących zastosowanie m.in. w branży spożywczej [19]. Poprzez wprowadzenie do składu efektywnej substancji stabilizującej, zmieniającego lepkość układu, możliwe jest wydłużenie trwałości emulsji [27]. Dlatego właściwy dobór stabilizatora ma kluczowe znaczenie już na etapie opracowywania nowych produktów i technologii ich wytwarzania [11]. Często dodatki stabilizujące nie tylko zmieniają konsystencję, ale mogą również zwiększyć wartość odżywczą produktu finalnego. Warto zauważyć, że w ostatnich latach konsumenci zwracają uwagę nie tylko na jakość, ale również na pochodzenie surowców produktów spożywczych i coraz częściej preferują naturalne składniki, takie jak np.  $\beta$ -glukan i lecytyny [14]. W związku z tym, nie tylko odpowiedni dobór, ale także pochodzenie substancji stabilizującej ma istotne znaczenie dla spełnienia oczekiwań konsumentów i uzyskania wysokiej jakości produktów. Wielu naukowców zajmuje się nowymi substancjami o potwierdzonych korzystnych właściwościach żywieniowych czy technologicznych, których zastosowanie może poprawić dotychczas istniejący produkt albo pozwoli wytworzyć nowy [3, 16, 31, 32].

Faza olejowa emulsji zawiera złożoną mieszaninę składników rozpuszczalnych w lipidach, takich jak triacyloglicerole, diacyloglicerole, monoacyloglicerole, wolne kwasy tłuszczowe, sterole, witaminy, barwniki, aromaty i konserwanty. Inne składniki, pomocne w wytworzeniu emulsji wysokiej jakości, to np.: emulgatory, środki zagęszczające, środki żelujące, modyfikatory tekstury oraz inhibitory dojrzewania [8, 17]. Badania właściwości układów wielofazowych oraz zrozumienie interakcji pomiędzy poszczególnymi składnikami pozwalają uzyskać optymalny dla danego produktu emulsyjnego skład oraz utrzymać ich długoterminową stabilność [28]. Właściwości, funkcje i jakość emulsji uzależnione są od polarności, temperatury topnienia i struktury chemicznej fazy olejowej oraz kombinacji i struktury grup hydrofilowych i alkilowych związku powierzchniowo czynnego [12]. Odpowiedni dobór emulgatorów stosowanych w procesie tworzenia układów emulsyjnych jest bardzo ważny nie tylko ze względu na ich istotny wpływ na właściwości fizykochemiczne, trwałość i stabilność emulsji, lecz również na wpływ na metabolizm emulsji [33]. W przemyśle spożywczym często stosowanymi emulgatorami są fosfolipidy pochodzenia roślinnego, będące najczęściej produktami ubocznymi przy produkcji oleju (z ziarna soi, słonecznika, kukurydzy oraz rzepaku) lub zwierzęcego (żółtka jaj oraz tłuszcz mleczny), tworzące mieszaniny nazywane lecytinami. Powierzchniowo czynne właściwości fosfolipidów wynikają z ich struktury. Fosfolipidy są amfifilowymi cząsteczkami z hydrofilową

głową (część polarna) i dwoma hydrofobowymi łańcuchami alifatycznymi (część niepolarna). Te amfifilowe surfaktanty zmniejszają napięcie międzyfazowe pomiędzy fazą olejową i wodną [9]. Innym dodatkiem do żywności pochodzenia naturalnego są  $\beta$ -glukany. Są one składnikami strukturalnymi ścian komórek roślinnych (głównie zbóż, takich jak owies i jęczmień), a także drożdży (*Saccharomyces cerevisiae*, *Saccharomyces fragilis*, *Candida tropicalis* i *Candida utilis*). Obecność grup hydroksylowych, które tworzą wiązania wodorowe z wodą, powoduje, że  $\beta$ -glukan ma właściwości higroskopijne. Długołańcuchowe  $\beta$ -glukany o wysokiej masie cząsteczkowej mają zdolność tworzenia lepkich żeli oraz pseudoplastycznych roztworów. Z kolei zdegradowany lub zmodyfikowany  $\beta$ -glukan charakteryzuje się niższą masą cząsteczkową, co prowadzi do powstania żeli bardziej miękkich, przy wyższych stężeniach [14].  $\beta$ -glukany, ze względu na właściwości prozdrowotne, zasługują na szczególną uwagę. Obniżają poziom cholesterolu i cukru we krwi oraz przyczyniają się do utrzymania prawidłowej masy ciała [15].

Wprowadzanie do składu emulsji składników o cennych właściwościach funkcjonalnych (emulgujących, stabilizujących) naturalnego pochodzenia o właściwościach prozdrowotnych jest zgodne z oczekiwaniami współczesnych konsumentów. Składniki takie mogą być pomocne w uzyskaniu produktów o dobrej jakości i w zapewnianiu bezpieczeństwa żywności. Ponadto próba wskazania nowych kierunków wykorzystania produktów odpadowych, powstających w przemyśle tłuszczowym, wpisuje się w gospodarkę o obiegu zamkniętym. Takimi względami kierowano się przy doborze surowca do wytworzenia modelowych emulsji. Fazę olejową stanowił olej ze słodkich migdałów o korzystnym żywieniowo profilu kwasów tłuszczowych.

Celem pracy była analiza wpływu lecytyny i  $\beta$ -glukanu na cechy tekstury, barwę, stabilność i mikrostrukturę układów emulsyjnych otrzymanych z udziałem oleju ze słodkich migdałów.

## **Materiały i metody badań**

### *Materiały*

Materiał do badań stanowiły modelowe układy emulsyjne. Do ich wytworzenia użyto tłoczonego na zimno oleju ze słodkich migdałów marki Big Nature (MIX BRANDS Sp. z o.o, Polska), wody destylowanej, lecytyny słonecznikowej (Lasenor Emul, S.L. Barcelona, Hiszpania) i preparatu  $\beta$ -glukanu jęczmiennego (zawartość  $\beta$ -glukanu > 23%, Vitacel®BG 300 od J.Rettenmaier & Söhne GmbH, Niemcy), jako stabilizatorów emulsji, konserwantu - preparatu handlowego Euxyl K712 (Schülke & Mayr GmbH, Niemcy), będącego roztworem wodnym benzoesu sodu (E 211) i sorbinianu potasu (E202) oraz dodano 0,2g złota koloidalnego (Mibelle AG Biochemistry, Szwajcaria).

*Przygotowanie emulsji*

Emulsje przygotowano zgodnie z recepturą zamieszczona w tabeli 1.

Tabela 1. Skład emulsji w przeliczeniu na 100 g emulsji

Table 1. Composition of emulsions per 100 g

Oznaczenia emulsji / Emulsions labels	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Olej ze słodkich migdałów / sweet almond oil	30	30	30	30	30	30
woda / water	64,55	64,55	64,55	64,55	64,55	64,55
substancja konserwująca / preservative	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
złoto koloidalne / colloidal gold	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
lecytyna / lecithin	5	0	3	2	4	1
β-glukan / β-glucan	0	5	2	3	1	4

Faza olejowa emulsji składała się z oleju ze słodkich migdałów oraz lecytyny słonecznikowej. Faza wodna składała się z wody destylowanej i β-glukanu. W pierwszej kolejności odmierzone wodę i olej, stanowiące dwie odrębne fazy. Następnie do fazy olejowej dodano zmienne ilości lecytyny. Równoległe przygotowano fazę wodną wprowadzając do niej zmienne ilości β-glukanu. W kolejnym kroku, fazy podgrzano do 50 °C, a następnie wymieszano przy użyciu mieszadła magnetycznego (30 s). Proces homogenizacji przeprowadzono stosując homogenizację ultradźwiękową przez okres 2 minut (Homogenizator ultradźwiękowy Hielscher Ultrasonics). Po wystudzeniu utworzonych emulsji wprowadzono do układu substancję konserwującą i złoto koloidalne. Otrzymane emulsje (pH na poziomie 6.0) poddano badaniom.

*Metody**Ocena tekstury wytworzonych emulsji*

Parametry tekstury określono za pomocą analizatora tekstury Texture Analyzer CT3 (Brookfield Engineering Laboratories Inc., Middleboro, MA, USA) z wykorzystaniem sondy w kształcie kuli o średnicy 25,4 mm. Pomiar wykonywany był na przygotowanych próbkach emulsji umieszczonych w jednakowych, cylindrycznych naczyniach o wymiarach 70 x 40 mm. Emulsje penetrowane były jednokrotnie na głębokość 10 mm z szybkością przesuwu sondy (w obydwie strony) równą 2 mm/s. Pomiarzy prowadzono w temperaturze 20 ± 2 °C po upływie 24 h od wytworzenia emulsji w trzech powtórzeniach. W badaniu tekstury próbek określono ich twardość i siłę adhezji, które definiowano odpowiednio jako maksimum oraz minimum piku siły (g) dla cyklu kompresji.

*Oznaczenie barwy wytworzonych emulsji*

Do pomiaru barwy wykorzystano kolorymetr CR400 firmy Konica Minolta. Urządzenie ocenia obiektywnie barwę za pomocą znormalizowanego systemu C.I.E L\*a\*b\*. W systemie tym barwa opisywana jest za pomocą trzech składowych trójkromatycznych L\*, a\*, b\*. Składowa L\* oznacza jasność (luminancję) i przyjmuje wartości od 0 do 100. Parametr a\* określa zróżnicowany udział barwy od zielonej do czerwonej. Parametr b\* określa zróżnicowany udział barwy od niebieskiej do żółtej. Przed każdym cyklem pomiarowym aparat zerowano i kalibrowano wobec wzorca bieli (płytki kalibracyjna nr 11033089). Pomiaru wykonano w 3 powtórzeniach.

Ponadto wyznaczono indeks bieli (WI), zgodnie z równaniem [24]:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Pomiary barwy dokonano, w temperaturze  $22 \pm 1$  °C.

*Określenie zmian destabilizacyjnych wytworzonych emulsji za pomocą aparatu Turbiscan*

Do określenia zmian destabilizacyjnych zachodzących w wytworzonych emulsjach wykorzystano analizator Turbiscan Lab (Formulation, L'Union, Francja). Źródło światła stanowiła dioda imitująca promieniowanie podczerwone o długości fali  $\lambda = 880$  nm. Urządzenie wykorzystuje dwa detektory światła przechodzącego (T. ang. Transmitted) oraz wstecznie rozproszonego (BS. ang. Backscattered) przez próbkę. Identyfikacja oraz analiza jakościowa procesów destabilizacyjnych w układach emulsyjnych możliwa jest dzięki zmianom sygnałów T i BS, które zależą od wielkości kropeł faz rozproszonej i ich udziału objętościowego. Próbkę w czasie pomiaru skanowane były ruchomą głowicą optyczną aparatu w całej swojej wysokości. Test był przeprowadzany przez okres 30 dni w kilkudniowych odstępach. Uzyskane dane zostały obliczone przez program Turbisoft i przedstawione w postaci krzywych zależności transmitancji i rozproszenia wstecznego od wysokości próbki. Temperatura pomiaru oraz przechowywania próbek wynosiła  $25 \pm 2$  °C.

*Badanie mikrostruktury wytworzonych emulsji za pomocą mikroskopu optycznego*

Do badania mikrostruktury wytworzonych emulsji wykorzystano mikroskop optyczny Genetic Pro Trino (Delta Optical, Warszawa) z obiektywem o 40-krotnym powiększeniu (Gx400) oraz kamerę DLT Cam Pro (Delta Optical, Warszawa, Polska). Próbkę emulsji nałożoną została centralnie na szkiełko podstawowe za pomocą pipety Pasteura w ilości  $0,04 \div 0,08$  g, a następnie przykryta szkiełkiem nakrywkowym tak, aby pobrany materiał nie wypływał spod szkiełka nakrywkowego. Z każdej emulsji

pobierano cztery próbki i poddawano je obserwacji. Badanie zostało powtórzone po miesiącu, w 30. dniu przechowywania emulsji, i przeprowadzono je w takich samych powtórzeniach jak przy pierwszym pomiarze.

#### *Badanie stabilności oksydacyjnej oleju ze słodkich migdałów i frakcji lipidowej pozyskanej z emulsji*

Badanie stabilności oksydacyjnej oleju (test Rancimat), użytego do wytworzenia emulsji oraz wyekstrahowanego z emulsji w czasie 30 dni przechowywania wykonano za pomocą Rancimatu (Metrohm, Herisau, Szwajcaria), zgodnie z normą ISO 6886:1996. W badaniu próbka tłuszczu jest poddana działaniu podwyższonej temperatury oraz działaniu strumienia powietrza. Przepływające powietrze zabiera z sobą lotne produkty utleniania z próbki, przenosząc je do naczynia pomiarowego z demineralizowaną wodą. W naczyniu następuje ciągły pomiar przewodnictwa. Na przewodnictwo wpływ mają pojawiające się produkty utleniania. Zastosowano następujące parametry testu: masa próbki tłuszczu –  $2,00 \pm 0,01$  g, stały przepływ powietrza 20 l/h, temperatura 120 °C. Aparat automatycznie wylicza czas indukcji (godz.) z dokładnością do 0,005. Badanie przeprowadzono w dwóch powtórzeniach dla każdej próbki.

#### *Ekstrakcja tłuszczu z układów emulsyjnych*

Tłuszcz z emulsji pozyskano przy użyciu ekstraktora Ancom XT15 (USA). W procesie wykorzystywana jest zasada Soxhleta. W naczynku ekstrakcyjnym ze stali nierdzewnej możliwe jest uzyskanie temperatury przekraczającej temperaturę wrzenia rozpuszczalnika. Poprawia to kinetykę i skraca czas ekstrakcji. Zastosowano procedurę postępowania zgodną z zaleceniami producenta. Pozbawione wody próbki poddano ekstrakcji przy użyciu eteru naftowego. Urządzenie automatycznie wykonuje wszystkie niezbędne etapy procesu ekstrakcji, łącznie z odzyskaniem rozpuszczalnika, nadającego się do ponownego użycia. Wyekstrahowany tłuszcz poddano dalszym analizom.

#### *Analiza statystyczna*

W celu porównania średnich wartości parametrów (zmiennych zależnych) przeprowadzono jednoczynnikową analizę wariancji – test ANOVA. Do oceny różnic pomiędzy średnimi wartościami badanych parametrów zastosowano test Duncana ( $p < 0,05$ ). Analizy statystyczne wyników przeprowadzono przy użyciu oprogramowania Statgraphics plus 4.0 (Statistical Graphics Corp., USA).

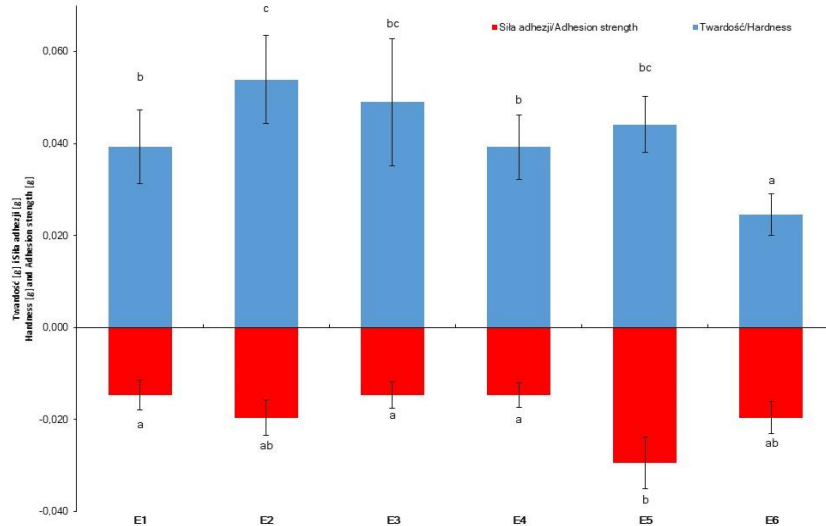
### **Wyniki i dyskusja**

Tekstura to jedna z podstawowych cech charakteryzujących produkty spożywcze, która w kluczowy sposób decyduje o ich jakości [28]. Wartości parametrów tekstury (twardość, siła adhezji) układów emulsyjnych przedstawiono na rys. 1. Wyniki prze-

przebadanych układów emulsyjnych, w zależności od rodzaju zastosowanego stabilizatora. Emulsja E2, w której jako stabilizator zastosowano wyłącznie  $\beta$ -glukan, cechowała się podobną twardością do E3 i E5, w których zastosowano najbardziej zbliżone proporcje zastosowanych dodatków (3:2 i 2:3). Z kolei najmniejszą twardość, istotnie statystycznie różną od pozostałych próbek, odnotowano dla emulsji E6, w której jako stabilizator zastosowano lecytynę (1 %) i  $\beta$ -glukan (4 %). Potwierdzenie powyższych wyników można również znaleźć w badaniach przeprowadzonych przez Ramandeep i wsp. [23], w których wraz ze wzrostem zawartości  $\beta$ -glukanu jako stabilizatora zwiększała się twardość emulsji. Wzrost twardości może być spowodowany wzrostem lepkości, który można przypisać zdolności  $\beta$ -glukanu do zatrzymywania wody w trójwymiarowej sieci produktu [23]. Może to świadczyć o tym, że  $\beta$ -glukan pomaga w utrzymaniu struktury emulsji. Badania lepkości emulsji stabilizowanych różnymi polisacharydami przeprowadzone przez Hosseinwanda i wsp. [10] wykazały, że niezależnie od ilości  $\beta$ -glukanu lepkość emulsji utrzymywała się na zbliżonym do siebie poziomie, w przeciwieństwie do emulsji stabilizowanych innymi polisacharydami (inulina i pektyna), w których wraz ze wzrostem ich udziału lepkość się zmniejszała. Emulsja E5, zawierająca 4 g lecytyny i 1 g  $\beta$ -glukanu, charakteryzowała się największą siłą adhezji (rys.1). To potwierdza, że ilość zastosowanych stabilizatorów wpływa na teksturę emulsji. Pokazują to również badania przeprowadzone przez Dubuisson i wsp. [7], w których wykazano, że nie tylko ilość stabilizatorów, ale również udział fazy olejowej oraz innych składników emulsji wpływa na teksturę emulsji. Różnicowanie istotne statystyczne ( $p < 0,05$ ) badanych parametrów tekstury (rys.1) może mieć związek z cechami sensorycznymi emulsji, o czym donoszą inni autorzy [7].

Barwa emulsji jest cechą wpływającą na jej wygląd, a przez to na odbiór danego produktu spożywczego przez konsumenta. Jest często kojarzona również z potencjalnymi właściwościami sensorycznymi [26]. Barwę badanych emulsji, parametry  $L^*$ ,  $b^*$ ,  $a^*$  (tab. 2) były różnicowane w zależności od rodzaju i ilości wprowadzonych do układów substancji stabilizujących.

Inni autorzy również donoszą o istotnym wpływie rodzaju oraz ilości zastosowanych stabilizatorów na jasność emulsji [6]. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że emulsja E1, zawierająca jako stabilizator wyłącznie lecytynę, charakteryzowała się największą wartością parametru  $L^*$ , natomiast emulsja E2, zawierająca jako stabilizator wyłącznie  $\beta$ -glukan, cechowała się najmniejszą wartością parametru  $L^*$ . Oznacza to, że próbki z  $\beta$ -glukanem były ciemniejsze w porównaniu z emulsjami zawierającymi lecytynę. Nie zaobserwowano znaczących różnic w jasności pomiędzy emulsjami E3E6, które zawierały stabilizatory w różnych proporcjach. Natomiast emulsja E6, zawierająca jako stabilizatory 1 g lecytyny oraz 4 g  $\beta$ -glukanu, wykazała



Rys. 1. Wartości parametrów: twardości i siły adhezji dla emulsji E1-E6

Fig. 1. Values of parameters: hardness and adhesion strength of emulsions E1-E6

Objaśnienia / Explanatory notes:

a-d – różne litery oznaczają różnice istotne statystycznie, w obrębie poszczególnych parametrów ( $p < 0,05$ ).

a-d – different letters mean statistically significant differences, within individual parameters ( $p < 0.05$ ).

Tabela 2. Wartości parametrów barwy dla emulsji E1-E6

Table 2. Values of parameters of colour for E1-E6

Próbka / sample	Parametry / Parameters			
	L*	a*	b*	Indeks bieli / whiteness index [-]
E1	41,15 <sup>c</sup> ± 0,85	-0,12 <sup>a</sup> ± 0,05	3,36 <sup>a</sup> ± 0,05	41,05
E2	32,08 <sup>a</sup> ± 0,27	-0,62 <sup>c</sup> ± 0,04	7,68 <sup>c</sup> ± 0,10	31,64
E3	34,51 <sup>b</sup> ± 0,11	-0,13 <sup>a</sup> ± 0,09	5,75 <sup>bc</sup> ± 0,06	34,26
E4	36,48 <sup>b</sup> ± 0,64	-0,42 <sup>b</sup> ± 0,07	4,99 <sup>b</sup> ± 0,10	36,28
E5	35,09 <sup>b</sup> ± 0,25	-0,40 <sup>b</sup> ± 0,07	5,58 <sup>bc</sup> ± 0,07	34,85
E6	37,91 <sup>bc</sup> ± 0,93	-0,59 <sup>bc</sup> ± 0,08	5,58 <sup>bc</sup> ± 0,19	37,66

Objaśnienia / Explanatory notes:

a-d – różne litery oznaczają różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

a-d – different letters mean statistically significant differences, ( $p < 0.05$ ).

największą wartość parametru L\* spośród emulsji zawierających mieszaninę dwóch stabilizatorów, różniąc się istotnie statystycznie od próbek E2 i E4. Badania wykonane przez Chung i wsp. [6] wskazują na zwiększającą się jasność barwy w emulsjach stabi-



lizowanych lecytyną wraz ze wzrostem jej zawartości. Autorzy wskazują, że barwa (wartość parametru jasności  $L^*$ ) jest związana z rozpraszaniem światła przez krople oleju fazy tłuszczowej emulsji. Rozpraszanie światła jest mniej intensywne, gdy rozmiar kropli jest większy lub mniejszy niż optymalna wartość określona dla tego zjawiska [22]. Kanclerz i wsp. [13] porównali barwę emulsji stabilizowanych  $\beta$ -glukanem oraz innymi polisacharydami. Wykazali, że emulsje stabilizowane  $\beta$ -glukanem charakteryzowały się najmniejszą wartością parametru  $L^*$  spośród wszystkich emulsji zawierających polisacharydy. Autorzy wskazali, że różnice w jasności emulsji wynikają z odmiennych właściwości fizykochemicznych zastosowanych stabilizatorów. Badanie zmian destabilizacyjnych zachodzących w emulsjach spożywczych pozwala na kompleksową ocenę jakości w czasie cyklu życia produktu [4].

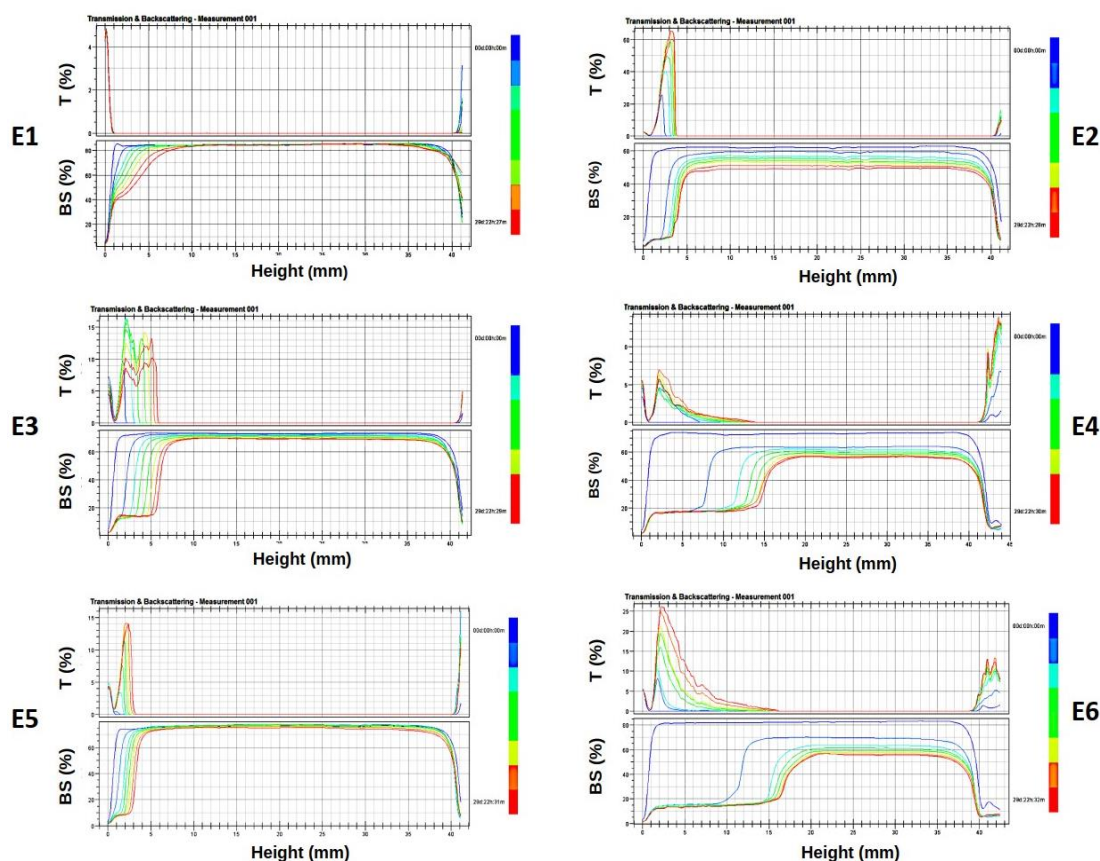
Rodzaj zastosowanych stabilizatorów oraz ich ilość wpływała na wartość parametru  $a^*$ , który przybierał wartości ujemne świadczące o udziale barwy zielonej. Największy udział tej barwy stwierdzono w emulsji E2, stabilizowanej wyłącznie lecytyną. Najmniejszą wartość parametru  $a^*$  wykazano dla emulsji stabilizowanej wyłącznie  $\beta$ -glukanem E1 (tabela 2). Pintado i wsp. [22] również wykazali wzrost wartości  $a^*$  wraz ze wzrostem stężenia  $\beta$ -glukanu w emulsjach. Podobnie w omawianej pracy, różnice w wartościach tego parametru między emulsją E2 a układami E3-E5 oraz emulsjami E1 i E2 były istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

Rodzaj zastosowanych stabilizatorów oraz ich ilość wpływały na wartość parametru  $b^*$  (tab. 2). Wszystkie badane emulsje charakteryzował udział barwy żółtej. Największą wartość parametru  $b^*$  wykazała emulsja E2, stabilizowana wyłącznie  $\beta$ -glukanem, natomiast najmniejszą – emulsja E1, stabilizowana wyłącznie lecytyną. Tak więc próbkę E1 charakteryzował największy udział barwy żółtej. Nie zaobserwowano istotnych różnic w wartości parametru  $b^*$  dla emulsji E3 ÷ E6. Chung i wsp. [6] również wykazali obniżenie wartości parametru  $b^*$ , przy wzroście udziału lecytyny w emulsji.

Ponadto wyznaczono indeks bieli (WI), świadczący o podobieństwie bieli próbek (0-100) do idealnej bieli wzorca (100) [24]. Próbka E1, wytworzona z udziałem wyłącznie lecytyny, wykazała najwyższe wartości indeksu bieli – 41,05 (tab. 2).

Wyniki badań uzyskiwane za pomocą testu Turbiscan umożliwiają kontrolę właściwości optycznych układów dyspersyjnych. Zmiany rejestrowane są poprzez profile zależności światła przechodzącego (T) oraz profile natężenia światła wstecznie rozproszonego (BS) w kontekście wysokości próbki danego układu emulsyjnego [4]. Intensywność światła przechodzącego i wstecznie rozproszonego zależy od udziału objętościowego fazy rozproszonej oraz poziomu jej rozproszenia, co umożliwia identyfikację objawów niestabilności zachodzących w emulsjach [10]. Identyfikacja zmian destabilizacyjnych związana jest z obserwacją zmian T i BS uzyskiwanych podczas kolejnych skanowań próbki w całej jej wysokości. Zmiana intensywności światła rozproszonego

oznacza zmianę wielkości cząstek fazy rozproszonej. Natomiast zmiana intensywności światła rozproszonego w dolnej i górnej części naczynia pomiarowego oznacza występowanie zmian destabilizacyjnych związanych z migracją cząstek fazy rozproszonej [4]. Wszystkie badane emulsje wykazywały zamiany w zakresie niestabilności, z największymi odchyleniami występującymi w emulsjach E4 (zawierającej 2 g lecytyny i 3 g  $\beta$ -glukanu) oraz E6 (zawierającej 1 g lecytyny i 4 g  $\beta$ -glukanu) (rys. 2).



Rys. 2. Profile zależności światła przechodzącego (T) oraz wstecznie rozproszonego (BS) w funkcji wysokości próbki dla emulsji E1-E6 w czasie przechowywania przez okres 30 dni

Fig. 2. Transmitted light (T) and backscattered light (BS) dependence profiles as a function of sample height of E1-E6 emulsions when stored for 30 days

Analiza profili BS wykazała, że już po kilku dniach w tych układach wystąpiły zmiany destabilizacyjne, świadczące o występowaniu śmietanowania, flokulacji oraz koalescencji. Obniżenie wartości BS w dolnej części naczynia świadczyło o migracji cząstek fazy rozproszonej do górnej części naczynia pomiarowego oraz o powstaniu

klarownej warstwy w dolnej części [34]. W czasie przechowywania tych emulsji intensywność światła wstecznie rozproszonego w środkowej części naczynia pomiarowego zmniejszała się znacząco, co wskazywało na postępującą zmianę wielkości cząstek fazy rozproszonej, a to z kolei powodowało łączenie się (agregację) cząstek, czyli proces flokulacji czy koalescencji. Podobne, lecz mniej intensywne zmiany destabilizacyjne występowały w emulsji E2. Wartość BS w dolnej części naczynia pomiarowego obniżała się znacząco po kilku dniach, lecz w późniejszym okresie zmiana ta przebiegała coraz wolniej, co oznaczało, że emulsja E2 zawierająca wyłącznie  $\beta$ -glukan ulegała szybkiemu śmietanowaniu przez kilka dni, a następnie przez resztę czasu krople fazy rozproszonej migrowały do górnej części emulsji coraz wolniej. Najmniejsze zmiany destabilizacyjne obserwowano w emulsji E1, zawierającej wyłącznie lecytynę. Analiza profilu BS wykazała, że śmietanowanie emulsji było praktycznie niezauważalne, ponieważ w dolnej części naczynia pomiarowego wartość BS emulsji pozostawała stała przez cały okres przechowywania.

Cabezas i wsp. [5] zbadali wpływ modyfikacji lecytyny słonecznikowej na właściwości fizykochemiczne oraz stabilność emulsji. Analiza profili BS emulsji O/W, które zawierały zmodyfikowane lecytyny poddane wcześniej procesom chemicznym i enzymatycznym wykazała, że wartość BS w dolnej części naczynia pomiarowego nie utrzymywała się na stałym poziomie, lecz cechowała się zróżnicowanym obniżeniem w zależności od zastosowanej zmodyfikowanej lecytyny. Warto jednak zaznaczyć, że profil BS wzdłuż osi wysokości naczynia pomiarowego pozostawał niezmienny. Oznacza to, że w emulsjach stabilizowanych lecytyną nie zaobserwowano istotnych zmian destabilizacyjnych, związanych z migracją cząstek, ale zauważalne były zmiany wielkości cząstek związane z procesami flokulacji i koalescencji [5]. Natomiast w środkowej i górnej części naczynia pomiarowego nie zaobserwowano widocznych zmian. Takie zachowanie może sugerować, że flokulacja lub/i koalescencja w emulsji E1 przebiegała wolniej niż w innych badanych próbkach. Z kolei inni autorzy stwierdzili, że parametry takie jak pH czy temperatura mogą również różnicować właściwości zastosowanych stabilizatorów [20].

Analiza profilu BS dla emulsji E3 i E5 wykazała występowanie zjawiska śmietankowania emulsji. Wartość BS zmniejszała się w dolnej części naczynia pomiarowego podczas całego okresu badania, jednakże w emulsji E5 zmiana ta nie przebiegała tak intensywnie jak w przypadku emulsji E3. Z kolei w E5, zawierającej 4 g lecytyny i 1 g  $\beta$ -glukanu w środkowej i górnej części naczynia pomiarowego nie zaobserwowano widocznych zmian natężenia intensywności światła wstecznie rozproszonego. Natomiast między emulsjami E3 i E5 można zauważyć nieznaczną różnicę w szybkości zmiany wielkości cząstek fazy rozproszonej (środkowa część naczynia). Dla emulsji E3 zmiana ta przebiegała szybciej.

Ocena wizualna emulsji E1 ÷ E6 (rys. 3) wykonana po 30 dniach była zbieżna z rezultatami uzyskanymi w teście Turbiscan. Emulsje E4 i E6 charakteryzowały się dużym rozwarstwieniem. W emulsja E2 wykazywała obecność klarownej warstwy na dnie naczynia pomiarowej. Brak widocznych zmian w wyglądzie próbki odnotowano dla emulsji E1, co wskazywało na jej największą stabilność.



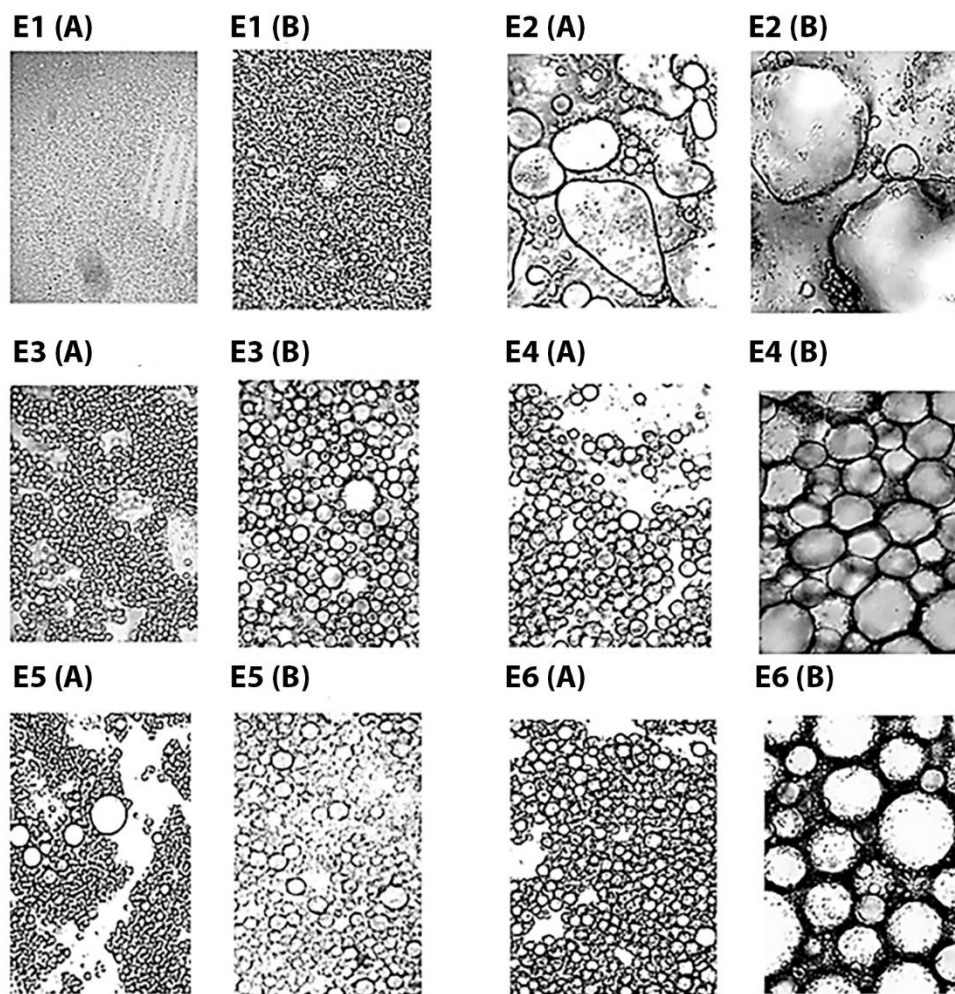
Rys. 3. Stan wizualny emulsji E1-E6 (po 30 dniach)

Fig. 3. Visual state of emulsions E1-E6 (after 30 days)

Badania wykonane z użyciem mikroskopu optycznego są bardzo przydatne w ocenie trwałości układów emulsyjnych. Umożliwiają obrazowanie mikrostruktury emulsji oraz obserwację zachodzących w układach zmian destabilizacyjnych [30]. Mikrostruktura emulsji E1 ÷ E6 bezpośrednio po wytworzeniu emulsji oraz po 30 dniach została przedstawiona na rysunku 4.

Emulsje E1 i E3 po wytworzeniu charakteryzowały się małym rozmiarem cząstek fazy rozproszonej. W emulsji E1 cząstki te były równomiernie rozłożone i nie tworzyły większych kompleksów oddalonych od siebie. Po 30 dniach emulsja E1 najlepiej zachowała pierwotny rozkład cząstek. W emulsji E3 zaobserwowano wzrost wielkości cząstek po 30 dniach testu. Emulsja E2 po wytworzeniu charakteryzowała się nierównomiernym rozłożeniem cząstek fazy rozproszonej, tworzących nieregularne agregaty. Po 30 dniach cząstki fazy rozproszonej połączyły się w większe agregaty, co świadczy o tym, że doszło do wyraźnej flokulacji w tym układzie. Po wytworzeniu emulsje E4 i E6 charakteryzowały się małym rozmiarem cząstek fazy rozproszonej o równomiernym rozłożeniu. Po upływie 30 dni cząstki fazy rozproszonej emulsji E4 i E6 wyraźnie

zwiększyły swój rozmiar. W emulsji E4 miały nieregularny kształt, a w emulsji E6 – kulisty. Wskazuje to na występowanie objawów niestabilności w postaci dojrzewania Ostwaldowskiego [18, 29].



Rys. 4. Mikrostruktura emulsji E1 ÷ E6 po 24h (A) i 30 dniach (B)

Fig. 4. Microstructure of E1 ÷ E6 emulsions after 24 h (A) and 30 days (B)

Emulsja E5 po wytworzeniu charakteryzowała się mniejszym rozmiarem cząstek niż wspomniane wcześniej dwie emulsje w chwili pierwszego pomiaru. W polu widzenia pojawiały się pojedyncze większe krople, jednakże samo rozłożenie kropli o tym samym rozmiarze było równomierne (w obrazie mikroskopowym). Po 30 dniach prze-

chowywania emulsji rozmiar cząstek fazy rozproszonej zwiększył się. Zauważalne były również pojedyncze kuliste cząstki w większym rozmiarze. Do podobnych wniosków doszli Pan i wsp. [21], badając układy emulsyjne zawierające lecytynę.

Stabilność oksydacyjna tłuszczów, a w przypadku emulsji – fazy olejowej, jest istotną cechą jakościową emulsji, co ma związek głównie z wartością odżywczą, jak i z ogólnym bezpieczeństwem produktu [31]. Parametr ten zależy od składu fazy olejowej, ale przede wszystkim od występowania w tłuszczu związków o działaniu przeciwutleniającym lub prooksydacyjnym [8]. Wartości czasu indukcji, świadczące o stabilności oksydacyjnej oleju ze słodkich migdałów oraz oleju wyekstrahowanego z wybranych emulsji E1, E2, E3, przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości czasu indukcji dla oleju ze słodkich migdałów i ekstrahowanego oleju z wybranych emulsji E1, E2, E3

Table 3. Induction time values for raw sweet almond oil and extracted fat from selected emulsions E1, E2, E3

Tłuszcz/Fat	Czas indukcji / Induction time (godz.)
E1	9,03 <sup>c</sup> ± 0,05
E2	3,99 <sup>b</sup> ± 0,77
E3	2,79 <sup>a</sup> ± 0,81
Olej ze słodkich migdałów tłoczony na zimno / Raw sweet almond Virgin oil	2,94 <sup>a</sup> ± 0,13

a-c – różne litery oznaczają różnice istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

a-c – different letters mean statistically significant differences ( $p < 0.05$ ).

Tłuszcz wyekstrahowany z emulsji E1, stabilizowanej jedynie lecytyną, miał najdłuższy czas indukcji. Otrzymany wynik pozwala przypuszczać, że fosfolipidy zawarte w lecytynie hamowały utlenianie lipidów zarówno w surowym oleju, jak również w emulsjach, w których tłuszcz stanowił fazę olejową [1]. Według Ghelichiego i wsp. [8] jednym z mechanizmów antyoksydacyjnych właściwości lecytyny jest synergizm fosfolipid-tokoferol, który indukowany jest poprzez oddanie atomu wodoru przez fosfolipidy do rodnika tokoferylowego, będącego produktem reakcji witaminy E zawartej w tłuszczu z rodnikami nadtlenków lipidów [8]. Taki wynik wskazuje na dobre właściwości stabilizujące emulsję, wynikające z tworzenia przez lecytynę bardziej zaawansowanych struktur koloidalnych. Tłuszcz wyekstrahowany z emulsji E2 charakteryzował się podobnym czasem indukcji do oleju ze słodkich migdałów. Można zatem przypuszczać, że  $\beta$ -glukan w dłuższej perspektywie słabiej chroni układ emulsyjny niż sama lecytyna [2]. Tłuszcz ekstrahowany z emulsji E3 charakteryzował się krótszym czasem indukcji w stosunku zarówno do tłuszczu ekstrahowanego z emulsji E1 (stabilizowanej wyłącznie lecytyną), jak również z emulsji E2 (stabilizowanej wyłącznie  $\beta$ -glukanem). Może to wskazywać, że lecytyna i  $\beta$ -glukan tworzyły struktury, które

wolniej stabilizowały procesy utleniania zachodzące w emulsji niż w przypadku, gdy te struktury występowały w emulsji oddzielnie [31].

### Podsumowanie

1. Zastosowane różne ilości lecytyny i  $\beta$ -glukanu spowodowały zmiany parametrów tekstury otrzymanych układów. Najwyższą twardością cechowała się emulsja otrzymana z udziałem jednego stabilizatora -  $\beta$ -glukanu. Z kolei najwyższa adhezja była zarejestrowana dla emulsji zawierającej przeważający dodatek lecytyny w stosunku do  $\beta$ -glukanu. Jednakże na podstawie uzyskanych wyników nie udało się jednoznacznie wskazać, który z zastosowanych stabilizatorów nadaje kierunek zmian w zakresie parametrów tekstury.
2. Substancje stabilizujące układ emulsyjny wpływały na parametry barwy mierzone instrumentalnie, a zatem również na cechy wizualne produktu. Najjaśniejsza, a co za tym idzie najbardziej atrakcyjną dla konsumenta okazała się emulsja zawierająca lecytynę, a najmniej atrakcyjną – emulsja wyłącznie z  $\beta$ -glukanem.
3. Badanie stabilności, za pomocą urządzenia Turbiscan LAB, wskazało na duże różnice w stabilności badanych układów. W emulsji zawierającej wyłącznie lecytynę wykazano najmniejsze zmiany destabilizacyjne układu. Najmniej stabilne były emulsje E5 oraz E4, w których najszybciej pojawiły się zmiany świadczące o postępującym procesie śmietankowania.
4. Obraz mikroskopowy emulsji potwierdził, że najgorszą jakościowo emulsją był układ zawierający wyłącznie  $\beta$ -glukan, w obrazie widoczne były duże nieregularne agregaty, które w czasie przechowywania emulsji połączyły się i utworzyły jeden obiekt. W układach z lecytyną (niezależnie od ilości) w obrazie występowały wyraźne, oddzielone cząstki o różnej średnicy. Na tej podstawie można wnioskować, że zastosowanie  $\beta$ -glukanu w roli samodzielnego stabilizatora nie jest wystarczającym czynnikiem stabilizującym układ emulsyjny, co może stanowić istotny problem dla jakości i bezpieczeństwa produktów emulsyjnych. Dlatego też uzasadnione jest, w przypadku, kiedy celem jest podwyższenie wartości żywieniowej emulsji, stosowanie dwóch różnych dodatków funkcjonalnych.
5. Analiza stabilności oksydacyjnej tłuszczu wyekstrahowanego z emulsji potwierdziła, że zastosowane stabilizatory (lecytyna,  $\beta$ -glukan) mogą wpływać na stabilność produktu. Wykazano, że lecytyna silniej niż  $\beta$ -glukan chroni tłuszcz w emulsjach przed utlenianiem, jednakże biorąc pod uwagę jedynie krótszy czas indukcji tłuszczu wyekstrahowanego z emulsji, zawierającej zarówno  $\beta$ -glukan jak lecytynę, nie można jednoznacznie wnioskować o jakości tłuszczu w tak złożonym układzie. Na tym etapie badań można wnioskować o przydatności tych złożonych układów emulsyjnych do wytworzenia produktów z krótkim terminem przydatności. Wówczas procesy destabilizacji nie obniżą jakości, natomiast element podwyższenia

właściwości żywieniowych emulsji zostanie zachowany. W związku z tym celowe jest prowadzenie dalszych badań, zmierzających do doprecyzowania ilości i proporcji zastosowanych w pracy substancji stabilizujących.

### Literatura

- [1] Arora H., Cullier M.D., Decker E.A.: Production of a High-Phosphatidylserine Lecithin That Synergistically Inhibits Lipid Oxidation with  $\alpha$ -Tocopherol in Oil-in-Water Emulsions. *Foods*, 2022, 11, #1014.
- [2] Banaś K., Harasym J.: Current Knowledge of Content and Composition of Oat Oil – Future Perspectives of Oat as Oil Source. *Food Bioproc. Technol.*, 2021, 14, 232-247.
- [3] Berton-Carabin C., Schroen K.: Towards new food emulsions: designing the interface and beyond. *Curr. Opin. Food Sci.*, 2019, 27, 74-81.
- [4] Blasi M., Algieri C., Chakraborty S., Calabro V.: Application of Turbiscan Stability Index for the Preparation of Alumina Photocatalytic Membranes for Dye Removal. *Membranes*, 2023, 13, #400.
- [5] Cabezas D.M., Madoery R., Diehl B.W.K., Tomas M.C.: Emulsifying Properties of Different Modified Sunflower Lecithins. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 2012, 89, 355-361.
- [6] Chung Ch., Sher A., Rousset P., McClements D.J.: Impact of Electrostatic Interactions on Lecithin-Stabilized Model O/W Emulsions. *Food Biophys.*, 2018, 13, 292-303.
- [7] Dubuisson P., Picard C., Grisel M., Savary G.: How does composition influence the texture of cosmetic emulsions? *Colloids Surf. A*, 2018, 536, 38-46.
- [8] Ghelichi S., Hajfathalian M., Yesiltas B., Moltke Sorensen A.D., Garcia-Moreno P.J., Jacobsen Ch.: Oxidation and oxidative stability in emulsions. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2023, 22, 1864-1901.
- [9] Gutiérrez-Méndez N., Chavez-Garay D.R., Leal-Ramos M.Y.: Lecithins: A comprehensive review of their properties and their use in formulating microemulsions. *J. Food Biochem.*, 2022.
- [10] Hosseinvand A., Sohrabvand S.: Physicochemical, textural and sensory evaluation of reduced-fat mustard sauce formulation prepared with Inulin, Pectin and  $\beta$ -glucan. *Croatian J. Food Sci. Technol.*, 2016, 8, #2.
- [11] Hu Y.T., Ting Y., Hu J.Y., Hsieh S.Ch.: Techniques and methods to study functional characteristics of emulsion systems. *J. Food Drug Anal.*, 2017, 25, 16-26.
- [12] Iwata H., Shimada K.: *Formulas, Ingredients and Production of Cosmetics: Technology of Skin- and Hair-Care Products in Japan*. Springer Japan, Japonia, 2013.
- [13] Kanclerz A., Drozdzińska E., Kurek M.A.: Microencapsulation of *Camelina sativa* Oil Using Selected Soluble Fractions of Dietary Fiber as the Wall Material. *Foods*, 2019, 8, #681.
- [14] Kaur R., Sharma M., Ji D., Xu M., Agyei D.: Structural Features, Modification, and Functionalities of Beta-Glucan. *Fibers*, 2020, 8, #1.
- [15] Vetvicka V., Vetvickova J.: Physiological effects of different types of beta-glucan. *Biomed. Pap. Med. Fac. Palacky Univ. Olomouc*, 2007, 151, 225-231.
- [16] Khanum R., Thevanayagam H.: Lipid peroxidation: Its effects on the formulation and use of pharmaceutical emulsions. *Asian J. Pharm. Sci.*, 2017, 12, 401-411.
- [17] Lazaroiu G., Valaskova K., Nica E., Durana P., Kral P., Bartoš P., Maroušková A.: Techno-Economic Assessment: Food Emulsion Waste Management. *Energies*, 2020, 13, #4922.
- [18] Liu B., Zhu Y., Tian J., Guan T., Bao Ch., Norde W., Wen P., Li Y.: Inhibition of oil digestion in Pickering emulsions stabilized by oxidized cellulose nanofibrils for lowcalorie food design. *RSC Advances*, 2019, 9, #14966.



- [19] McClements D.J., Jafari S.M.: Improving emulsion formation, stability and performance using mixed emulsifiers: A review. *Adv. in Coll. Interf. Sci.*, 2018, 251, 55-79.
- [20] Östbring K., Matos M., Marefati A., Ahlström C., Gutiérrez G.: The Effect of pH and Storage Temperature on the Stability of Emulsions Stabilized by Rapeseed Proteins. *Foods*, 2021 10, #1657.
- [21] Pan L.G., Tomas M.C., Añón M.C.: Oil-in-Water Emulsions Formulated with Sunflower Lecithins: Vesicle Formation and Stability. *Am. J. Oil Chem. Soc.*, 2004, 81, 241-244.
- [22] Pintado T., Herrero A.M., Jiménez-Colmenero F., Ruiz-Capillas C.: Emulsion gels as potential fat replacers delivering b-glucan and healthy lipid content for food applications. *J. Food Sci. Technol.*, 2016, 12, 4336-4347.
- [23] Ramandeep K., Charanjit S.R.: Sensory, rheological and chemical characteristics during storage of set type full fat yoghurt fortified with barley  $\beta$ -glucan. *J. Food Sci. Technol.*, 2020, 57, 41-51.
- [24] Rodriguez-Aguilera R., Oliveira J.C., Montanez J.C., Mahajan P.V.: Effect of modified atmosphere packaging on quality factors and shelf-life of surface mould ripened cheese: Part I constant temperature. *LWT – Food Sci. Technol.*, 2011, 44, 330-336.
- [25] Surówka K.: Tekstura żywności i metody jej badania. *Przemysł Spożywczy*, 2002, 56(10), 12-17.
- [26] Samotyja U., Sielicka-Różyńska M., Klimczak I.: *Badania sensoryczne w ocenie jakości produktów*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu, Poznań 2020.
- [27] Shafiei M.S., Kazemzadeh Y., Martushev D.A., Dai Z., Riazi M.: Effect of chemicals on the phase and viscosity behavior of water in oil emulsions. *Sci. Rep.*, 2023, 13, #4100.
- [28] Tadros T.: *Cosmetics*. [w:] Tadros, T. (red.) *Encyclopedia of Colloid and Interface Science*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013
- [29] Varlı M., Solak R., Turan S., Ramadan M.F.: Physical characteristics of black cumin oil emulsions compared to sunflower and corn oils emulsions. *J. Food Measure. Character.*, 2021, 15, 3207-3215.
- [30] Vratsanos M.A., Gianneschi N.: Direct Observation of Emulsion Morphology, Dynamics, and Demulsification. *ACS Nano*, 2022, 16, 5, 7783-7793.
- [31] Wang D., Xiao H., Lyu X., Chen H., Wei F.: Lipid oxidation in food science and nutritional health: A comprehensive review. *Oil Crop Sci.* 2023, 8, 35-44.
- [32] Woźniak M., Kowalska M., Turek P., Kudelka W.: Characterization of Dispersion Systems Prepared with Mutton Tallow/Hemp Seed Oil- Based Diacylglycerols Using Ultrasonic or Mechanical Homogenization. *J. Surfact. Deterg.*, 2020,23,4,737-751.
- [33] Yang R., Zhang X., Li F., Ding L., Li B., Sun H., Gan Y.: Role of phospholipids and copolymers in enhancing stability and controlling degradation of intravenous lipid emulsions. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng Asp.*, 2013, 436, 434-442.
- [34] Zhang I., Zhao S., Li J., Kong B., Liu H.: High Internal Phase Emulsions Stabilized by Pea Protein Isolate Modified by Ultrasound Combined with pH-Shifting: Micromorphology, Rheology, and Physical Stability. *Foods*, 2023, 12, #1433.

#### SELECTED PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MODEL EMULSION SYSTEMS CONTAINING SWEET ALMOND OIL, LECITHIN AND $\beta$ -GLUCAN

##### S u m m a r y

**Background.** Emulsions are perishable systems. In order to achieve certain stability, e.g. a variety of chemical substances and compounds of natural origin are used to stabilize and improve the physicochemical properties and also to increase the nutritional value of the final product. The purpose of this study was to analyze the effect of the addition of lecithin and  $\beta$ -glucan on the parameters of texture, color, physical

stability and microstructure of emulsion systems containing sweet almond oil. Emulsions containing different proportions of lecithin and  $\beta$ -glucan were studied and analyzed for texture, color, stability and microstructure. A CT3 Texture Analyzer was used to measure the adhesion strength and hardness of the emulsions produced. The color of the emulsions produced was determined using a Konica Minolta CR400 colorimeter, whereas a Turbiscan Lab analyzer was used to determine destabilization changes occurring in the emulsions produced. A Genetic Pro Trino optical microscope coupled to a camera was used to determine the microstructure of the emulsions.

**Results and conclusions.** The results confirmed the influence of the addition of both stabilizers, both the type and variable amounts.  $\beta$ -glucan used alone was found to be insufficient to stabilize the emulsion systems. The highest physical stability was determined for the emulsion system containing lecithin alone. In the systems in which lecithin and  $\beta$ -glucan (at different concentrations) were the stabilizers, satisfactory stability was not obtained. The results obtained prove that it was advisable to conduct the research on emulsion systems with two different stabilizing substances and that there is the need to continue works on the impact of a system of such additives used in varying proportions. Such reformulation of the composition can be an important factor in increasing the physical stability of emulsion systems and increasing their nutritional value.

**Key words:** emulsions,  $\beta$ -glucan, lecithin, t-Turbiscan, emulsion stability 