

NATALIA KRZEMIŃSKA, GRAŻYNA BORTNOWSKA

WPLYW SKROBI NATYWNEJ Z KUKURYDZY WOSKOWEJ NA WŁAŚCIWOŚCI FIZYKOCHEMICZNE MODELOWYCH SOSÓW PRZYGOTOWANYCH Z UDZIAŁEM MIĘSA DROBIOWEGO

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu dodatku skrobi z kukurydzy woskowej na stabilność, wybrane właściwości reologiczne i sensoryczne modelowych, niskotłuszczowych sosów przygotowanych z udziałem mięsa drobiowego (piersi kurcząt). Badania reologiczne obejmowały oznaczenie: granicy płynięcia, lepkości pozornej, konsystencji, zwartości, adhezyjności, kohezyjności i parametrów określających cechy lepko-sprężyste. Wszystkie układy charakteryzowały się właściwościami cieczy rozrzedzanych ścinaniem, dla których wartości granicy płynięcia (σ_0) oraz współczynnika konsystencji (K) obliczone z równania Herschel-Bulkleya zawierały się w przedziałach odpowiednio: $0,42 \div 2,42$ Pa oraz $0,30 \div 5,46$ Pa·sⁿ, przy zawartości skrobi (ZS) $0 \div 6$ %. Wzrost ZS w większym wymiarze zwiększał wartości modułu zachowawczego (G') niż stratności (G''), a tangens kąta przesunięcia fazowego ($\tan \delta$, 1 Hz) mieścił się w zakresie $1,50 \div 0,21$, co wskazuje na postępujący proces tworzenia się struktury żelowej. W badaniach wykonanych metodą ekstruzji wstecznej (ang. *back-extrusion*) wykazano, że wzrost wartości parametrów tekstury (zwartości, konsystencji, kohezyjności i adhezyjności), szczególnie wyraźnie występował przy $ZS \geq 5$ %. Z analizy testów przyspieszonego starzenia (ESCP) oraz rozdziału grawitacyjnego (ESCG) wynika, że użycie mięsa z piersi kurcząt umożliwiało dobrą stabilizację fizyczną fazy zdyspergowanej (brak wydzielania oleju). Dodatek skrobi wpływał na progresywny wzrost wskaźników stabilności, których 100-procentowe wartości obserwowano przy $ZS = 6$ % i ≥ 5 % odpowiednio w teście ESCP i ESCG. Barwę, teksturę i zapach modelowych sosów oceniano z użyciem 9-punktowej skali hedonicznej, a z uzyskanych wyników obliczano indeks ogólnej atrakcyjności sensorycznej (ang. *overall sensory desirability index*, D), który najwyższe wartości wraz ze wzrostem ZS przyjmował w układzie zawierającym 5 % zagęstnika. Uzyskane wyniki mogą mieć praktyczne zastosowanie w przemysłowej produkcji sosów z udziałem mięsa drobiowego i skrobi woskowych.

Słowa kluczowe: sosy niskotłuszczowe, skrobia, stabilność, właściwości reologiczne

Wprowadzenie

Sosy jako ważny dodatek do potraw są stosowane w celu nadania lub wzbogacenia walorów smakowo-zapachowych, barwy, wartości odżywczej, a także łączenia stałych składników oraz zabezpieczenia ich przed dostępem powietrza i światła [3, 8]. W zdecydowanej większości należą do emulsji typu olej w wodzie (o/w) i zawierają takie podstawowe składniki, jak: tłuszcze w postaci płynnej, substancje powierzchniowo czynne (emulgatory) oraz zagęszczające, a także kształtujące cechy sensoryczne i inne [4, 6]. Olej rzepakowy jest bardzo przydatny do produkcji sosów, ponieważ charakteryzuje się korzystnym profilem nienasyconych kwasów tłuszczowych, a ponadto łatwo ulega emulgowaniu i odznacza się większą lepkością niż inne oleje roślinne [5, 11]. Alternatywą emulgatorów spożywczych do stabilizacji dyspersji olejowo-wodnych mogą być białka mięsa zwierząt rzeźnych [9, 19]. W literaturze przedmiotu zwraca się uwagę, że stosunkowo wysokim wskaźnikiem jakości żywieniowej białka (ang. *Index Nutritional Quality*, INQ) charakteryzuje się mięso drobiowe (z indyka – INQ = 6,77; z kurcząt – INQ = 5,17), w odniesieniu do innych mięs zwierząt rzeźnych (baranina – INQ = 2,8; wieprzowina – INQ = 2,5) [2]. Z badań doświadczalnych wynika ponadto, że mięso kurcząt wykazuje dobre właściwości emulgująco-żelujące [12]. Oczekiwania konsumentów w zakresie prozdrowotnych walorów żywności zmuszają producentów do maksymalnej możliwej redukcji zawartości tłuszczu [14]. Emulsje typu o/w zawierające poniżej 60 % fazy olejowej są jednak kinetycznie niestabilne, dlatego wymagają dodatku substancji o właściwościach zagęszczająco-stabilizujących [3]. Wysoką przydatność technologiczną w tym zakresie wykazują skrobie natywne o dużej zawartości amylopektyny [6, 12]. Sosy stabilizowane składnikami naturalnymi mogą być przedmiotem zainteresowania producentów żywności profilowanej w kierunku prozdrowotnym. Jednocześnie w dostępnej literaturze nie napotkano wyników badań dotyczących kompleksowej oceny stabilności i właściwości fizykochemicznych tego typu produktów przygotowanych z udziałem mięsa drobiowego oraz natywnych skrobi woskowych.

Celem niniejszej pracy była ocena wpływu dodatku natywnej skrobi z kukurydzy woskowej na właściwości reologiczne, stabilność oraz ogólną atrakcyjność sensoryczną modelowych niskotłuszczowych sosów, wytwarzanych z udziałem mięsa drobiowego.

Material i metody badań

Do przygotowywania sosów używano: mięsa drobiowego z piersi kurcząt (MasAR Sp. z o.o. Szczecin), oleju rzepakowego „Kujawski” (zakupionego w handlu detalicznym), skrobi natywnej z kukurydzy woskowej (o zawartości ~99 % amylopektyny) (Ingredion, Niemcy), fosforanu dipotasowego – K_2HPO_4 oraz chlorku sodu – NaCl

(Hartim, Szczecin). Skład chemiczny mięsa określano zgodnie z AOAC [1]. Oznaczano zawartość: wody (950.46) – metodą suszenia (105 °C) w suszarce APT Line Serie VD (Binder GmbH, Niemcy), tłuszczu (960.39) – metodą Soxhleta przy użyciu aparatu Soxtec HT 1043 (Foss Tecator AB, Höganäs, Szwecja) oraz białka ogólnego (928.08, N × 6,25) – metodą Kjeldahla z zastosowaniem aparatu Kjeltec 1026 (Foss Tecator AB, Höganäs, Szwecja). Sosy wytwarzano według Bortnowskiej i wsp. [4] z modyfikacją przy użyciu robota kuchennego K4555 (KitchenAid Inc., St. Joseph Michigan, USA). Do stabilizacji zdyspergowanej fazy olejowej używano homogenatu mięsa kurcząt przygotowanego z dodatkiem mieszaniny ekstrakcyjnej (2,5 % NaCl i 0,5 % K₂HPO₄) oraz żele skrobiowe (kleikowane w temp. 90 ± 0,5 °C w ciągu 20 min). Końcowa zawartość składników sosu wynosiła: 2,5 % mięsa, 20 % oleju rzepakowego, 0,05 % sorbinianu potasu oraz: 0, 2, 4, 5 lub 6 % skrobi (m/m). Stabilność fizyczną sosów mierzono w temp. 4 ± 0,5 °C według Krzezińskiej [12]. Stosowano testy: rozdziału faz pod wpływem oddziaływania ziemskiego pola grawitacyjnego (48 h) oraz przyspieszonego starzenia (2400 × g; 10 min) przy użyciu wirówki MPW-350 (Med. Instruments, Warszawa). Stabilność sosów obliczano z równania: ESC [%] = (HE/HT) × 100, gdzie: HE oraz HT – utrzymująca się oraz początkowa wysokość fazy emulsyjno-żelowej. Krzywe płynięcia (20 ± 0,5 °C) z kontrolowaną wzrastającą i malejącą szybkością ścinania w zakresie: 3,0 ÷ 1312 s⁻¹ wyznaczano z użyciem reometru Rheotest 2 ÷ 50 Hz, RV 2 (Medingen GmbH, Niemcy), stosowano współosiowy układ cylindrów S/S₁. Uzyskane wartości opisano równaniem Herschel-Bulkleya: $\sigma = \sigma_0 + K \cdot \dot{\gamma}^n$, gdzie: σ – naprężenie ścinające [Pa], σ_0 – granica płynięcia [Pa], $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania [s⁻¹], K – współczynnik konsystencji [Pa·sⁿ] i n – wskaźnik płynięcia. Względne wartości pola powierzchni pętli histerezy obliczano według Bortnowskiej i wsp. [6] z zależności: $A_r [\%] = [(A_u - A_d)/A_u] \times 100$, gdzie: A_u i A_d – pola powierzchni pod krzywymi odpowiednio: przy zwiększającej się i malejącej szybkości ścinania. Zależność lepkości pozornej ($\dot{\gamma} = 145,8 \text{ s}^{-1}$) od temperatury (20 ÷ 50 ± 0,5 °C) wyznaczano z równania Arrheniusa: $\eta_p = \eta_{ep} \cdot \exp(E_a/RT)$, gdzie: η_p – lepkość pozorna [Pa·s], η_{ep} – stała materiałowa [Pa·s], E_a – energia aktywacji płynięcia [J/mol], R – stała gazowa [J/K·mol], T – temperatura [K]. Zmiany η_p w funkcji czasu (0 ÷ 60 min) mierzono w temp. 20 °C ($\dot{\gamma} = 145,8 \text{ s}^{-1}$), a eksperymentalnie uzyskane krzywe opisano modelem Weltmana: $\sigma = A_w + B \cdot \ln(t)$, gdzie: A_w – parametr strukturalny [Pa], B – współczynnik niszczenia struktury tiksotropowej [Pa·s⁻¹] [6]. Właściwości lepkość-prężyste mierzono z użyciem reometru AR 2000ex (TA Instruments, New Castle, DE, USA), stosowano dynamiczny test ścinania oscylacyjnego (0,1 ÷ 79,5 Hz) w obszarze liniowej lepkość-prężystości, przy stałym naprężeniu ścinającym 0,6 Pa. Wyznaczano wartości modułów: zachowawczego – G' [Pa], stratności – G'' [Pa] i zespolonego – G* [Pa] = (G'² + G''²)^{1/2} oraz tangens kąta przesunięcia fazowego: $\text{tg } \delta = G''/G'$. Parametry

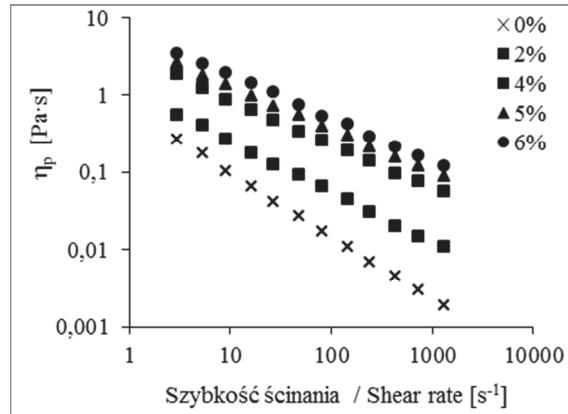
tekstury (zwartość [N], konsystencja [N·s], kohezijność [N] oraz adhezyjność [N·s]) mierzono według Bortnowskiej i wsp. [5] metodą ekstruzji wstecznej (ang. *back extrusion*) z użyciem analizatora tekstury typu TA-XT2 (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, UK). Modelowe sosy poddawano wstępnej ocenie sensorycznej według Bortnowskiej i wsp. [4, 6] z użyciem skali hedonicznej: 1 (bardzo nie lubię) ÷ 9 (bardzo lubię). Oceny cech sensorycznych (barwy, tekstury i zapachu) wykonywał 20-osobowy zespół spełniający podstawowe wymagania w zakresie wrażliwości sensorycznej według PN-EN ISO 8586 [17] w warunkach zgodnych z PN-ISO 8589 [16]. Z uzyskanych wyników obliczano indeks ogólnej atrakcyjności sensorycznej – D (ang. *overall sensory desirability index*) według Janga i wsp. [7] z równania: $D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{1/n} = (\prod_{i=1}^n d_i)^{1/n}$, gdzie: d_i – atrakcyjność określonej cechy, n – liczba ocenianych cech. Wartości D interpretowano jako najmniejszą (0) i największą (1) atrakcyjność.

Wpływ zawartości skrobi na mierzone parametry oceniano jednoczynnikową analizą wariancji ANOVA (F-statystyka, $p < 0,05$, $p < 0,01$, $p < 0,001$) z użyciem programu Statistica 8.0 (StatSoft, Polska). Istotność różnic pomiędzy wartościami średnimi wyznaczano testem Tukeya ($p < 0,05$). Współzależność pomiędzy zmiennymi określano obliczając współczynniki korelacji liniowej Pearsona (r).

Wyniki i dyskusja

Sosy przygotowane z udziałem: (i) mięsa kurcząt (białko ogólne – $22,96 \pm 0,82$ %, tłuszcz – $1,92 \pm 0,43$ %, woda – $73,97 \pm 1,29$ %) wprowadzonego do układu w celu stabilizacji zdyspergowanej fazy tłuszczowej oraz (ii) natywnej skrobi z kukurydzy woskowej w ilości 1 ÷ 6 %, charakteryzowały się zróżnicowaną stabilnością fizyczną, właściwościami reologicznymi i sensorycznymi. Krzywe lepkości pozornej (η_p) sosów przy wzrastającej i malejącej szybkości ścinania ($\dot{\gamma}$) wyznaczano w temp. $20 \pm 0,5$ °C, a wyniki przy rosnących wartościach $\dot{\gamma}$ przedstawiono na rys. 1.

Wszystkie próbki wykazywały właściwości cieczy rozrzedzanych ścinaniem, przy różnicach η_p (najmniejsza – największa $\dot{\gamma}$) mieszczących się w zakresie $0,26 \div 3,32$ Pa·s odpowiednio dla układów zawierających 0 ÷ 6 % skrobi. Wzrost zawartości skrobi (ZS) w układzie w zakresie 0 ÷ 6 % zwiększał η_p , której wartości przy $\dot{\gamma} = 48,6$ s⁻¹ (warunki konsumpcji) zmieniały się od 0,03 do 0,76 Pa·s. Zjawisko rozrzedzania ścinaniem można m.in. odnosić do narastającego efektu załamywania struktury sosu, układania się cząstek w kierunku wymuszonego przepływu i częściowej ich deformacji oraz niszczenia międzymolekularnych interakcji pomiędzy składnikami emulsji. Z kolei wzrost η_p spowodowany dodatkiem skrobi można tłumaczyć



Rys. 1. Lepkość pozorna (η_p) sosów w zależności od zawartości skrobi [% m/m]

Fig. 1. Apparent viscosity (η_p) of sauces depending on starch content [% w/w]

powstającą zwartą żelową strukturą oraz zwiększającymi się interakcjami pomiędzy zaadsorbowanymi na cząstkach fazy rozproszonej molekułami białek i polisacharydu w fazie ciągłej [5, 8, 12, 13]. Wyznaczone w teście ścinania krzywe płynięcia opisano modelem Herschel-Bulkleya (H-B) przy $R^2 > 0,9896$, a uzyskane wartości parametrów (σ_0 , K , n) zamieszczono w tab. 1. Wykazano, że wzrost zawartości skrobi (ZS) miał statystycznie istotny ($p < 0,001$) wpływ na parametry równania H-B, szczególnie w odniesieniu do K ($F = 375,6$, $p < 0,001$). Wszystkie mierzone wielkości (σ_0 , K , n) były dodatnio skorelowane ze zwiększającą się ZS przy stosunkowo wysokich wartościach ($r \geq 0,954$, $p < 0,05$) w odniesieniu do σ_0 i K . Parametr K charakteryzuje lepkie właściwości sosów, a wzrost jego wartości wskazuje na powstawanie struktury przeciwdziałającej zjawisku płynięcia pod wpływem przyłożonych sił ścinających [4, 18]. Właściwości tiksotropowe sosów analizowano przy zmieniającym się kierunku i szybkości ścinania ($\dot{\gamma}$) oraz stałej wartości tego parametru i wzrastającym czasie ścinania. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci względnych wartości pola powierzchni pętli histerezy (A_r , %) oraz współczynników (A_w , B) równania Weltmana (tab. 1). Wykazano, że w odniesieniu do zwiększającej się ZS, parametry A_r i B charakteryzowały się odpowiednio dodatnią oraz ujemną wartością współczynnika korelacji: $r = 0,986$, $p < 0,01$ i $r = -0,931$, $p < 0,05$. Ujemne wartości B wskazują, że naprężenie ścinające (lub η_p) zmniejszało się wraz z czasem ścinania, co potwierdza występowanie zjawiska tiksotropii obserwowanego w teście pomiaru A_r . Wykazano również istotną ($p < 0,05$) korelację A_r i bezwzględnych wartości B . Wyniki tego testu wskazują zatem, że wraz z dodatkiem skrobi zwiększała się reologiczna niestabilność sosów (wzrost bezwzględnych wartości B) oraz ilość energii potrzebnej do zniszczenia tiksotropowej struktury układów [6, 8].

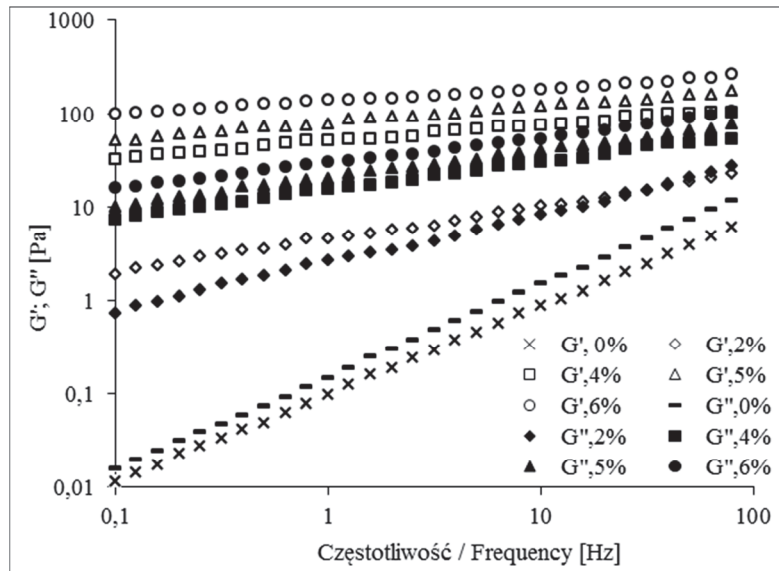
Tabela 1. Wartości parametrów równań: Herschel-Bulkleya (σ_0 , K , n), Weltmana (A_W , B), Arrheniusa (E_a , η_{osp}) oraz względne pola powierzchni (A_r) pętli histerezy wyrażone w [%]Table 1. Parameters values from equations: Herschel-Bulkley (σ_0 , K , n), Weltman (A_W , B), Arrhenius (E_a , η_{osp}) and relative hysteresis areas (A_r) expressed as [%]

Parametr Parameter	Zawartość skrobi [% m/m] / Starch content [% w/w]				
	0	2	4	5	6
σ_0 [Pa]	0,42 ^d ± 0,02	0,54 ^d ± 0,03	1,33 ^c ± 0,05	1,89 ^b ± 0,09	2,42 ^a ± 0,15
K [Pa·s ⁿ]	0,30 ^e ± 0,01	0,82 ^d ± 0,03	2,45 ^c ± 0,12	3,69 ^b ± 0,19	5,46 ^a ± 0,35
n [-]	0,27 ^c ± 0,01	0,39 ^b ± 0,01	0,47 ^a ± 0,02	0,48 ^a ± 0,03	0,47 ^a ± 0,03
A_r [%]	17,1 ^c ± 0,68	19,4 ^c ± 0,77	26,2 ^b ± 1,31	28,1 ^{ab} ± 1,24	29,8 ^a ± 1,79
A_W [Pa]	3,69 ^e ± 0,11	10,50 ^d ± 0,43	35,2 ^c ± 1,29	59,1 ^b ± 2,13	79,8 ^a ± 2,94
$-B$ [Pa·s ⁻¹]	0,37 ^a ± 0,01	0,96 ^b ± 0,03	1,65 ^c ± 0,07	3,23 ^d ± 0,16	4,56 ^e ± 0,29
E_a [kJ·mol ⁻¹]	19,1 ^a ± 0,76	11,2 ^b ± 0,45	5,35 ^c ± 0,27	5,08 ^c ± 0,28	4,01 ^d ± 0,26
η_{osp} [Pa·s] × 10 ⁻³	0,04 ^e ± 0,00	0,47 ^d ± 0,00	21,2 ^c ± 1,08	37,6 ^b ± 2,11	82,6 ^a ± 3,21

Objaśnienia / Explanatory notes:

W tabeli przedstawiono wartości średnie ± odchylenia standardowe / Table shows mean values ± standard deviations; $n = 3$; wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie ($p < 0,05$) / within the rows, mean values denoted by different letters are statistically significantly different ($p < 0,05$).

Parametr A_W , będący miarą naprężenia w początkowym czasie trwania testu, był dodatnio skorelowany z ZS ($r = 0,956$, $p < 0,05$) oraz σ_0 ($r = 0,998$, $p < 0,001$), a jego wartość wskazuje, jak duże naprężenie ścinające musi być przyłożone, żeby układ zaczął płynąć. Wielkości A_W i σ_0 są dobrymi wskaźnikami sosów zagęszczanych hydrokolidami w zakresie: spójności, żelowania i innych właściwości określających ich przydatność technologiczną. Układy charakteryzujące się odpowiednią wielkością tych parametrów zachowują swój pierwotny kształt, np. po nałożeniu ich na zimne przekąski i zwiększają tym samym atrakcyjność sensoryczną potraw [13, 18]. Wpływ temperatury ($20 \div 50 \pm 0,5$ °C) na η_p opisano równaniem Arrheniusa, a wyznaczone wartości energii aktywacji (E_a) oraz stałej materiałowej (η_{osp}) zamieszczono w tab. 1. Wykazano, że E_a ($F = 324,6$, $p < 0,001$) oraz η_{osp} ($F = 121,7$, $p < 0,001$) w istotny sposób zależały od ZS i wielkości te były skorelowane odpowiednio ujemnie ($r = -0,965$, $p < 0,01$) oraz dodatnio ($r = 0,873$, $p < 0,05$). Uzyskane wyniki badań w zakresie trendu są zbieżne z przedstawionymi przez Bortnowską i wsp. [4, 6] i wskazują, że zwiększająca się ilość zagęstnika w układzie zmniejszała podatność sosów w zakresie oddziaływania temperatury na lepkość pozorną [10]. Karaman i wsp. [9] wykazali natomiast, że wzrost stężenia fazy tłuszczowej w emulsjach stabilizowanych mięsem wołowym wpływał na zwiększenie E_a i zmniejszenie η_{osp} . Spektra mechaniczne sosów w zależności od ZS ($0 \div 6$ % m/m) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Wartości modułu zachowawczego (G') i stratności (G'') sosów w zależności od częstotliwości oscylacji i zawartości skrobi [% m/m]

Fig. 2. Values of storage modulus (G') and loss modulus (G'') of sauces depending on oscillation frequency and starch content [% w/w]

Wykazano, że za wyjątkiem próbek bez dodatku zagęstnika wartości modułu zachowawczego G' były większe od modułu stratności G'' , natomiast wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego ($\tan \delta$) zmniejszały się wraz ze wzrostem ZS (0 ÷ 6 %) w układzie ($r = -0,919$, $p < 0,05$) i przy częstotliwości oscylacji 1 Hz mieściły się w zakresie $1,50 \div 0,21$ (tab. 2). Wyniki te wskazują, że dodatek skrobi miał istotny wpływ ($F = 248,1$, $p < 0,001$) na kształtowanie lepkosprężystych cech sosów, które zmieniały właściwości od rozcieńczonych dyspersji do słabych żeli, charakterystycznych dla produktów zaliczanych do grupy dressingów [5, 12]. Moduły G' , G'' oraz G^* opisano przy użyciu funkcji potęgowej w zależności od częstotliwości (ω), a uzyskane wartości współczynników zamieszczono w tab. 2.

Wartości współczynników konsystencji K' i K'' wykazywały dodatnią korelację z ZS odpowiednio: $r = 0,926$, $p < 0,05$ i $r = 0,966$, $p < 0,01$, a parametry n' i n'' – ujemną: $r = -0,911$, $p < 0,05$ i $r = -0,929$, $p < 0,05$. Wykazano, że wzrost ZS w większym wymiarze wpływał na K' ($F = 323,9$, $p < 0,001$) niż K'' ($F = 218,1$, $p < 0,001$). Zauważono także, że w odniesieniu do określonych ZS wartości K' były większe niż K'' , za wyjątkiem sosów bez dodatku zagęstnika, natomiast we wszystkich próbkach zachodziła zależność $n'' > n'$. Podobny trend w emulsjach stabilizowanych żółtkiem jaja lub

Tabela 2. Parametry równań potęgowych opisujących moduły: zachowawczy ($G' = K' \cdot \omega^n$), stratności ($G'' = K'' \cdot \omega^n$), zespolony ($G^* = A_B \cdot \omega^{1/2}$, równanie Bohlina) oraz tangens kąta przesunięcia fazowego ($\text{tg } \delta$, 1 Hz)

Table 2. Parameters of power law functions describing moduli: storage ($G' = K' \cdot \omega^n$), loss ($G'' = K'' \cdot \omega^n$), complex ($G^* = A_B \cdot \omega^{1/2}$, Bohlin equation) and tangent of phase angle ($\text{tg } \delta$, 1 Hz)

Parametr Parameter	Zawartość skrobi [% m/m] / Starch content [% w/w]				
	0	2	4	5	6
$\text{tg } \delta$ [-]	$1,50^a \pm 0,06$	$0,58^b \pm 0,03$	$0,31^c \pm 0,01$	$0,26^d \pm 0,01$	$0,21^d \pm 0,01$
K' [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$]	$0,11^e \pm 0,01$	$4,54^d \pm 0,18$	$50,3^c \pm 2,01$	$79,6^b \pm 4,29$	$137^a \pm 3,98$
n' [-]	$0,94^a \pm 0,03$	$0,35^b \pm 0,01$	$0,18^c \pm 0,01$	$0,17^c \pm 0,01$	$0,13^d \pm 0,01$
K'' [$\text{Pa} \cdot \text{s}^n$]	$0,15^e \pm 0,01$	$2,56^d \pm 0,09$	$15,2^c \pm 0,47$	$20,5^b \pm 1,05$	$29,6^a \pm 1,81$
n'' [-]	$0,99^a \pm 0,04$	$0,52^b \pm 0,02$	$0,30^c \pm 0,01$	$0,29^c \pm 0,02$	$0,28^c \pm 0,02$
A_B [$\text{Pa} \cdot \text{s}^{1/2}$]	$0,18^e \pm 0,01$	$5,28^d \pm 0,21$	$52,7^c \pm 2,11$	$82,4^b \pm 2,97$	$140^a \pm 4,64$
z [-]	$1,02^d \pm 0,04$	$2,47^c \pm 0,07$	$5,19^b \pm 0,26$	$5,36^b \pm 0,29$	$6,98^a \pm 0,43$

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

kazeinianem sodu i wstępnie skleikowaną skrobią z kukurydzy wykazali Bortnowska i wsp. [5] oraz Karaman i wsp. [9] w emulsjach mięsnych o różnej zawartości fazy olejowej. Obserwowany efekt można odnosić do zwiększającej się lepkości sprężystości układów [12, 15]. Zależności pomiędzy właściwościami reologicznymi oraz mikrostrukturą sosów wyznaczono z równania Bohlina poprzez obliczenie wartości parametrów A_B i z (tab. 2). Wielkości te były dodatkowo statystycznie istotnie skorelowane z ZS odpowiednio: $r = 0,929$, $p < 0,05$ i $r = 0,988$, $p < 0,01$. Wysoką korelację wykazano również pomiędzy A_B i σ_0 ($r = 0,989$, $p < 0,01$) oraz A_B i A_W ($r = 0,991$, $p < 0,01$). Parametr z jest miarą reologicznych jednostek tworzących trójwymiarową strukturę, natomiast A_B odnosi się do oddziaływań pomiędzy nimi [9, 13]. Wyniki te wskazują zatem na powstawanie coraz bardziej zwartej żelowej struktury sosów wraz ze zwiększającą się ZS i zbieżne są co do trendu z wynikami badań dotyczących układów zagęszczanych innymi rodzajami skrobi woskowych [6]. Wartości mierzonych parametrów tekstury przedstawiono w tab. 3. Wszystkie wielkości, tzn. zawartość, kohezynność, konsystencja i adhezyjność były dodatnio ($r \geq 0,802$) skorelowane z ZS w układzie, przy czym statystycznie istotnie w największym wymiarze ZS wpływała na kohezynność ($F = 373,1$, $p < 0,001$). Zawartość była dodatkowo skorelowana ($r = 0,972$, $p < 0,01$) z parametrem A_B , co również wykazali Laverse i wsp. [14] w odniesieniu do majonezów. Zauważono także istotną korelację konsystencji ze współczynnikiem K ($r = 0,948$, $p < 0,05$) z równania H-B oraz adhezyjności z lepkością pozorną ($\dot{\gamma} = 48,6 \text{ s}^{-1}$), $r = 0,926$, $p < 0,05$. Stabilność fizyczną sosów oceniano testami przyspieszonego starzenia (ESCP) oraz rozdziału grawitacyjnego (ESCG). Wykazano 100-procentową stabilność fazy zdyspergowanej (brak oznak wydzielania się oleju), co

wskazuje na dobrą przydatność białek ekstrahowanych z mięsa kurcząt w zakresie przeciwdziałania procesowi koalescencji [4, 12]. Wartości ESCP oraz ESCG w zależności od zawartości skrobi (0 ÷ 6 %) mieściły się w zakresach odpowiednio: 32,8 ÷ 100 % oraz 39,6 ÷ 100 %. Wykazano, że dodatek skrobi miał statystycznie istotny wpływ na stabilność sosów mierzoną zarówno testem ESCP ($F = 219,4$, $p < 0,001$), jak również ESCG ($F = 287,2$, $p < 0,001$). Większe wartości F wykazane w teście ESCG niż ESCP wskazują, że badane sosy (zawierające taką samą ilość skrobi) charakteryzowały się większymi wartościami mierzonego parametru stabilności (ESC) przy rozdziale grawitacyjnym niż w warunkach stosowania wielokrotności przyspieszenia ziemskiego. W badaniach ustalono ponadto, że parametr ESCP był dodatnio skorelowany z wielkościami A_B ($r = 0,924$, $p < 0,05$) i z ($r = 0,975$, $p < 0,01$) wyznaczonymi z równania Bohlina. Podobne statystycznie istotne korelacje wykazano pomiędzy ESCG i z ($r = 0,949$, $p < 0,05$).

Tabela 3. Stabilność sosów (test przyspieszonego starzenia – ESCP i rozdział grawitacyjny – ESCG), parametry tekstury (zwarłość, kohezynność, konsystencja, adhezyjność) oraz indeks ogólnej atrakcyjności sensorycznej (D)

Table 3. Stability of sauces (ESCP – accelerated ageing test and ESCG – gravitational separation test), texture parameters (firmness, cohesiveness, consistency, adhesiveness) and overall sensory desirability index (D)

Parametr Parameter	Zawartość skrobi [% m/m] / Starch content [% w/w]				
	0	2	4	5	6
Zwarłość Firmness [N]	0,14 ^d ± 0,01	0,18 ^d ± 0,01	0,31 ^c ± 0,01	0,82 ^b ± 0,04	1,25 ^a ± 0,08
Kohezynność Cohesiveness [N]	0,08 ^c ± 0,01	0,09 ^c ± 0,01	0,11 ^c ± 0,01	0,51 ^b ± 0,02	0,88 ^a ± 0,04
Konsystencja Consistency [N·s]	6,01 ^d ± 0,24	6,87 ^d ± 0,29	8,09 ^c ± 0,37	20,3 ^b ± 1,09	31,8 ^a ± 1,84
Adhezyjność Adhesiveness [N·s]	0,27 ^c ± 0,01	0,18 ^c ± 0,01	0,23 ^c ± 0,01	13,5 ^b ± 0,73	22,1 ^a ± 1,35
ESCP [%]	32,8 ^d ± 1,31	44,2 ^c ± 1,89	80,4 ^b ± 2,73	96,5 ^a ± 3,49	100 ^a ± 0,00
ESCG [%]	39,6 ^c ± 1,58	68,7 ^b ± 2,82	97,1 ^a ± 2,09	100 ^a ± 0,00	100 ^a ± 0,00
D	0,36 ^d ± 0,01	0,52 ^c ± 0,02	0,64 ^b ± 0,04	0,78 ^a ± 0,03	0,71 ^{ab} ± 0,04

Objaśnienia jak pod tab. 1. / Explanatory notes as in Tab. 1.

Zauważono, że wzrost ZS miał statystycznie istotny ($F = 101,2$, $p < 0,05$) wpływ na wartości indeksu ogólnej atrakcyjności sensorycznej (D) wyznaczone w pomiarze cech, takich jak: barwa, zapach i tekstura (wyników nie zamieszczono w pracy), przy $r = 0,954$, $p < 0,05$. Wartości D mieściły się w zakresie 0,36 (0 % skrobi) ÷ 0,78 (5 %

skrobi). Jednocześnie wykazano, że dalszy wzrost ZS do 6 % nie wpływał statystycznie istotnie ($p > 0,05$) na wielkość tego parametru.

Wnioski

1. Mięso drobiowe (z piersi kurcząt) wykazywało dobrą przydatność do stabilizacji zdyspergowanej fazy olejowej w niskotłuszczowych sosach.
2. Dodatkiem skrobi natywnej z kukurydzy woskowej można w szerokim zakresie kształtować właściwości reologiczne sosów, takie jak: granica płynięcia, lepkość pozorna, konsystencja, zwartość, adhezyjność, kohezyjność i lepkość przężystość.
3. Współczynniki równania Bohlina umożliwiają wstępną ocenę stabilności sosów na etapie projektowania ich składu.
4. Biorąc pod uwagę wyniki badań reologicznych, oceny stabilności oraz ogólnej atrakcyjności sensorycznej, optymalne stężenie skrobi w niskotłuszczowych sosach powinno wynosić $5 \div 6$ %.

Literatura

- [1] AOAC: Official methods of analysis of AOAC international. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, 1995.
- [2] Bartnikowska E., Zawadzka K., Szymańska M.: Wartość odżywcza mięsa zwierząt rzeźnych i drobiu. *Przem. Spoż.*, 2002, 56 (7), 17-20.
- [3] Bortnowska G.: Znaczenie sosów w gastronomii prozdrowotnej. W: Jakość usług turystycznych i żywieniowych. Red. D. Kołożyn-Krajewska i Z.J. Dolatowski. Wyd. WSzHiT, Częstochowa 2011, ss. 248-272.
- [4] Bortnowska G., Krzemińska N., Mojka K.: Effects of waxy maize and potato starches on the stability and physicochemical properties of model sauces prepared with fresh beef meat. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2013, 48, 2668-2675.
- [5] Bortnowska G., Balejko J., Tokarczyk G., Romanowska-Osuch A., Krzemińska N.: Effects of pregelatinized waxy maize starch on the physicochemical properties and stability of model low-fat oil-in-water food emulsions. *Food Hydrocoll.*, 2014, 36, 229-237.
- [6] Bortnowska G., Krudos A., Schube V., Krawczyńska W., Krzemińska N., Mojka K.: Effects of waxy rice and tapioca starches on the physicochemical and sensory properties of white sauces enriched with functional fibre. *Food Chem.*, 2016, 202, 31-39.
- [7] Jang M.S., Park J.E., Park H.Y.: Formulation optimization of salad dressing added with Chinese Quince (*Chaenomeles sinensis*) juice by mixture design. *Food Sci. Biotechnol.*, 2011, 20, 409-417.
- [8] Juszcak L., Oczadły Z., Galkowska D.: Effect of modified starches on rheological properties of ketchup. *Food Bioprocess Technol.*, 2013, 6, 1251-1260.
- [9] Karaman S., Yilmaz M.T., Dogan M., Yetim H., Kayacier A.: Dynamic oscillatory shear properties of o/w model system meat emulsions: Linear viscoelastic analysis for effect of temperature and oil concentration on protein network formation. *J. Food Eng.*, 2011, 107, 241-252.
- [10] Koocheki A., Taherian A.R., Bostan A.: Studies on the steady shear flow behavior and functional properties of *Lepidium perfoliatum* seed gum. *Food Res. Int.*, 2013, 50, 446-456.
- [11] Krygier K.: Olej rzepakowy – jego wartość żywieniowa i użytkowa. *Przem. Spoż.*, 2009, 63 (7), 16-20.

- [12] Krzemińska N.: Przydatność technologiczna mięsa zwierząt rzeźnych i skrobi funkcjonalnych do produkcji niskotłuszczowych sosów z dodatkiem substancji bioaktywnych. Praca doktorska. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2016.
- [13] Laca A., Sáenz M.C., Paredes B., Díaz M.: Rheological properties, stability and sensory evaluation of low-cholesterol mayonnaises prepared using egg yolk granules as emulsifying agent. *J. Food Eng.*, 2010, 97, 243-252.
- [14] Laverse J., Mastromatteo M., Frisullo P., Del Nobile M.A.: X-ray microtomography to study the microstructure of mayonnaise. *J. Food Eng.*, 2012, 108, 225-231.
- [15] Pietrzyk S., Juszczak L., Fortuna T., Królikowska K.: Wpływ kompleksowania skrobi utlenionych składnikami mineralnymi na ich właściwości reologiczne. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2013, 3 (88), 125-139.
- [16] PN-EN ISO 8589:2010. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne dotyczące projektowania pracowni analizy sensorycznej.
- [17] PN-EN ISO 8586:2014-03. Analiza sensoryczna. Ogólne wytyczne wyboru, szkolenia i monitorowania wybranych oceniających i ekspertów oceny sensorycznej.
- [18] Udomrati S., Ikeda S., Gohtani S.: Rheological properties and stability of oil-in-water emulsions containing tapioca maltodextrin in the aqueous phase. *J. Food Eng.*, 2013, 116, 170-175.
- [19] Yang J., Xiong Y.L.: Inhibition of lipid oxidation in oil-in-water emulsions by interface – adsorbed myofibrillar protein. *J. Agric. Food Chem.*, 2015, 63, 8896-8904.

EFFECTS OF NATIVE WAXY MAIZE STARCH ON PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF MODEL SAUCES MADE USING POULTRY MEAT

S u m m a r y

The objective of the research study was to assess the effect of adding the waxy maize starch on the stability and selected rheological and sensory properties of model low-fat sauces made with the use of poultry meat (chicken breast). The rheological tests included the determination of the following: yield stress, apparent viscosity, consistency, firmness, adhesiveness, cohesiveness, and the parameters describing the viscoelastic features. All the systems were characterized by the behaviour of shear thinning fluids, for which the values of yield stress (σ_0) and consistency coefficient (K), calculated from the Herschel-Bulkley equation, ranged from 0.42 to 2.42 Pa and from 0.30 to 5.46 Pa·sⁿ, respectively, with the starch content (SC; in Polish: ZS) being between 0 and 6 %. The increase in SC caused the values of storage modulus (G') to increase more than those of the loss modulus (G''), and the loss tangent ($\tan \delta$, 1 Hz) varied from 1.50 to 0.21; the latter fact points to an ongoing process of gel-like structure formation. The research study, performed using a back-extrusion method, confirmed that the increase in the values of texture parameters (firmness, consistency, cohesiveness, and adhesiveness) occurred particularly clearly when SC was ≥ 5 %. The accelerated ageing (ESCP) and gravitational separation (ESCG) tests showed that the use of chicken breast meat made it possible to properly physically stabilize the dispersed phase (no oiling off). The addition of starch induced a progressive increase in the stability parameters; in the ESCP and ESCG tests performed, their values of 100 % were reported for SC = 6 % and ≥ 5 %, respectively. The colour, texture, and odour of the model sauces were assessed using a 9-point hedonic scale. Based on the results obtained, an overall sensory desirability index (D) was calculated. Along with the increasing SC, the D parameter reached the highest values in the system composed of 5 % of the thickener. The results obtained may have practical applications in the industrial production of sauces with the use of poultry meat and waxy starches.

Key words: low-fat sauces, starch, stability, rheological properties 