

MACIEJ OZIEMBŁOWSKI

WPLYW IMPULSÓW SILNEGO POŁA ELEKTRYCZNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE, TERMICZNE ORAZ BARWĘ MASY JAJOWEJ

Streszczenie

Masa jajowa poddana była oddziaływaniom impulsów silnego pola elektrycznego (26, 44, 66 kV), a następnie analizowano jej właściwości reologiczne, termiczne i barwę. Stwierdzono, że oddziaływanie silnych pól elektrycznych wpływa w mniejszym stopniu na charakterystykę badanych wyróżników, aniżeli cieplna pasteryzacja masy jajowej. Silne pola elektryczne mogłyby być alternatywą cieplnej pasteryzacji, jednak pod warunkiem uzyskania wymaganej skuteczności mikrobiologicznej. Z tego też względu metoda wymaga dalszych intensywnych badań nad stopniem redukcji mikroflory patogennej.

Wstęp

Stosunkowo nową technologią przemysłową mającą spełniać zadania postawione przed klasyczną pasteryzacją jest użycie silnych pulsacyjnych pól elektrycznych. Tę przyszłościową technikę można określić mianem elektropasteryzacji, którą ująć można jako dwa typy procesów, tj. elektrogrzanie (electroheating) [14, 15, 17] oraz elektroporację (electroporation) [7, 16]. Opis technologii i zbudowanie pierwszego zestawu prototypowego do elektropasteryzacji produktów jajczarskich jest dziełem korporacji „Raztek” z Kalifornii [15]. Prawdopodobnie taki kierunek dezaktywacji drobnoustrojów w płynnych produktach żywnościowych stanie się jednym z ważniejszych trendów technologii procesowej w najbliższym czasie.

Elektrogrzanie oparte jest na procesie przepływu ładunku elektrycznego, w płynach biologicznych lub płynnej żywności, pomiędzy dwiema elektrodami, będącymi w kontakcie z tymi płynami. Płyn posiada określony opór elektryczny w odniesieniu do ładunku, co powoduje nagłe grzanie proporcjonalnie do kwadratu wielkości tego ładunku. Istniejące urządzenie do elektrogrzania jest przystosowane do pracy ciągłej w

układzie kaskadowym, wykorzystując pola elektryczne o wysokich napięciach (40-100 kV), gdzie stosuje się prąd zmienny o częstotliwości 50-60 Hz. Urządzenie jest skonstruowane z niekonduktywnego materiału, zaś elektrody wykonane są z węgla najwyższej czystości. Urządzenie do zastosowania na skalę przemysłową ma budowę wielomodułową, co pozwala na precyzyjne ustalenie warunków procesu.

Inną zasadą działania charakteryzuje się elektroporacja. Wysokie napięcia impulsowe mają destrukcyjny wpływ na komórki drobnoustrojów. Skuteczność niszczenia zależy od przyłożonego pola elektrycznego i od czasu jego trwania. Pod wpływem pola elektrycznego o określonej wartości, komórki bakterii w wyniku indukcji zostają naładowane przeciwnym ładunkiem, co powoduje rozrywanie (dziurawienie) ścian komórkowych poprzez tworzenie się porów – stąd nazwa elektroporacja [7, 16]. Technologia z zastosowaniem silnych pulsacyjnych pól elektrycznych ma dużą szansę stać się jedną z kluczowych technik utrwalania żywności.

Celem pracy było określenie wpływu silnego pola elektrycznego na właściwości reologiczne, termiczne oraz barwę masy jajowej.

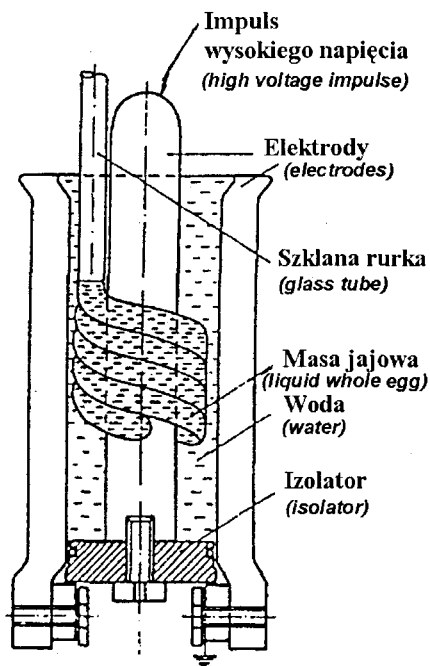
Material i metody badań

Materiał doświadczalny stanowiła masa jajowa, uzyskana ze świeżych jaj od niosek linii Isa Brown, utrzymywanych w systemie baterijnym w fermie drobiu w Gądkowie k/Legnicy. W chowie niosek stosowano standardowe warunki zoohigieniczne i standardowe żywienie z uwzględnieniem mieszanki paszowej DJ. Świeży materiał (jaja) wybijano, a żółtka łącznie z białkami homogenizowano w urządzeniu Büchi Mixer B-400 przez 5 sekund i filtrowano przez sita o średnicy oczek 1,5 mm.

Masę jajową przygotowano uwzględniając naturalny wagowy stosunek żółtka do białka (30:70).

Do badań adaptowano istniejące stanowisko badawcze, będące własnością Wrocławskiego Instytutu Elektrotechniki. Impulsy wysokiego napięcia wytwarzano na prototypowym jednostopniowym generatorze udarów napięciowych [8]. Masa jajowa umieszczana była podczas badań w specjalnych układach elektrod. Kształt elektrod uwarunkowany był wymogiem zachowania jednorodności pola elektrycznego, a przede wszystkim zachowaniem bezpieczeństwa osób wykonujących badania. W zasadniczej fazie badań wykorzystywano układ elektrod cylindrycznych (rys. 1). Oddziaływaniu poddawana była masa jajowa, umieszczona w spiralnej szklanej rurce owiniętej wokół elektrody wewnętrznej, na którą podawano wysokie napięcie udarowe. Elektroda zewnętrzna była uziemiana, a przestrzeń pomiędzy elektrodami wypełniono wodą. Oddziaływanie wysokiego impulsowego pola elektrycznego na masę jajową odbywało się z zastosowaniem napięcia 26, 46 lub 66 kV, przy różnej liczbie impulsów – 30, 60 lub 90. Parametry impulsu zastosowane w eksperymencie były następujące: czas narostu napięcia $T_1 = 1,5 \mu s \pm 0,5 \mu s$, biegunowość napięcia „-” (ujemna). Pod-

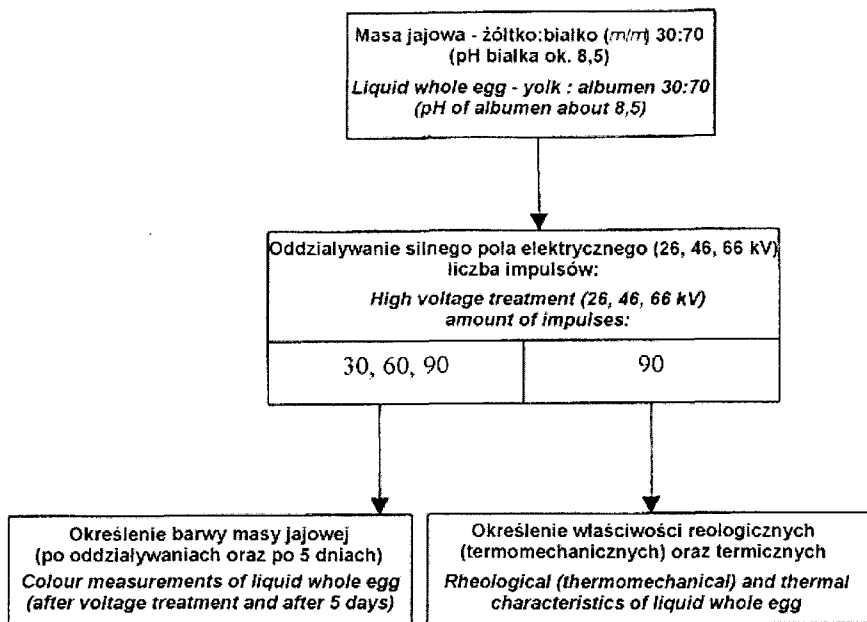
czas prób rejestrowany był przebieg prądu przepływającego przez próbkę – jego wartość szczytowa wynosiła ok. 50 A, zaś czas półszczytu wynosił ok. 30 μ s [8]. Badania wykonywano na masie jajowej w stanie statycznym, przy częstotliwości podawanych impulsów – 0,25 Hz. Właściwości reologiczne i termiczne określano zgodnie ze schematem układu doświadczenia, zaś pomiar barwy miał miejsce zaraz po oddziaływaniach elektrycznych oraz po 5 dniach (rys. 2).



Rys. 1. Cylindryczny układ elektrod.

Fig. 1. Scheme of cylindrical electrode.

W eksperymencie w odniesieniu do masy jajowej dokonywano: oznaczenia pH, barwy w skali $L^*a^*b^*$ (czyli: jasność, intensywność barwy czerwonej oraz żółtej), analizy termomechanicznej TMA oraz analizy termicznej przy zastosowaniu różnicowego kalorymetru skaningowego DSC. Pomiaru pH dokonywano elektronicznym pH-metrem, model PM-600. Wartość pH oznaczano celem określenia zaawansowania procesów starzenia się jaj. Do badań wykorzystano te jaja, których pH części białkowej wynosiło 8,5 ($\pm 0,1$). Pomiaru barwy dokonywano przy użyciu fotokolorymetru Minolta, model CR-200b. Analizowaną masę jajową wlewano do płytki Petriego (do wysokości 10 mm) i w ramach jednej próby dokonywano 7 pomiarów w różnych miejscach, przyjmując jako wynik średnią wartość. Otrzymane wyniki podano w skali $L^*a^*b^*$.



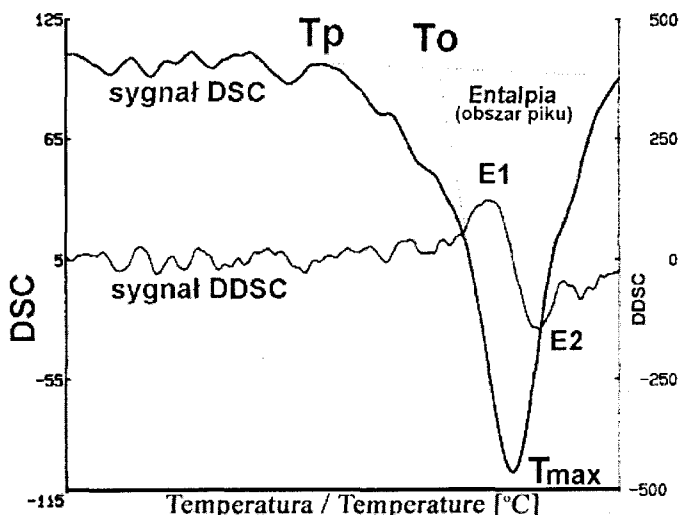
Rys. 2. Układ doświadczenia.

Fig. 2. Experimental design.

Zastosowany w badaniach zestaw do analizy termomechanicznej składał się z modułu pomiarowego (TMA/SS 150U firmy Seiko), modułu komputerowego HP712/60 (odpowiedzialnego za nadzorowanie przebiegu pomiarów i analizę wyników) oraz drukarki. Badaną masę jajową o objętości 1 cm³ umieszczano w małym kwarcowym pojemniku, a całość zamykano w komorze ogrzewania, gdzie realizowane były określone programy – „termiczny” oraz „mechaniczny”. Podczas analizy umieszczony w próbce kwarcowy trzpień poruszał się według zadanego programu „mechanicznego” (realizującego naprężenie o amplitudzie 0,2 G [ok. 1,96 mN] i częstotliwości 0,1 Hz), w ustalonym (w programie „termicznym”) zakresie temperatur 35–95°C, przy zadanej szybkości ogrzewania 3°C/min. W eksperymencie przeprowadzano analizę termomechaniczną [10] masy jajowej o naturalnych proporcjach żółtko-białko (30:70), poddanej oddziaływaniom stałej ilości 90 impulsów silnego pola elektrycznego, przy trzech różnych napięciach: 26, 46 i 66 kV. Próba odniesienia była próba kontrolna nie poddana żadnym oddziaływaniom.

Do celów analizy termicznej badane próby o masie 15–25 mg zamykano szczelnie w aluminiowych naczynkach, a następnie wyznaczano ich masę z dokładnością do 0,01 mg przy użyciu wagi analitycznej firmy Sartorius, model RC 210D. Hermetycznie zamknięte naczynia z masą jajową (jako próbą badaną) oraz wodą destylowaną o

znanej masie (jako próbą odniesienia) umieszczano w komorze analitycznej różnicowego kalorymetru skaningowego DSC. Całość zamykano za pomocą trzech specjalnych pokryw i ustalano warunki analizy przy użyciu modułu komputerowego. Zakres badania mieścił się w przedziale 30–95°C, zaś szybkość ogrzewania ustalono na 3°C/min. Pomiar i zapis sygnału DSC odbywał się automatycznie co 0,1 s. Uzyskany termogram DSC służył do wyznaczenia poszczególnych parametrów analizy, takich jak: wartość początkowa przemiany T_p [°C], wartość maksymalnej przemiany T_{max} [°C], entalpia przemiany [mJ/mg]. Cały zestaw do różnicowej analizy kalorymetrycznej składał się z 4 podstawowych elementów: modułu analitycznego DSC22C, modułu komputerowego SSC 5100, modułu chłodzenia (wraz ze zbiornikiem na ciekły azot) oraz z plotera umożliwiającego wydruk uzyskanych termogramów.



Oznaczenia: T_p – temperatura początku przemiany fazowej wyznaczona na końcu linii bazowej, T_o – początkowa temperatura przemiany fazowej otrzymana poprzez interpolację, T_{max} – temperatura maksymalnego przebiegu przemiany fazowej, E_1 – pierwsze ekstremum pochodnej sygnału DSC, E_2 – drugie ekstremum pochodnej sygnału DSC

Rys. 3. Typowy termogram masy jajowej otrzymany przy zastosowaniu różnicowej analizy skaningowej DSC.

Fig. 3. Typical thermogram of LWE for differential scanning calorimetry (DSC).

Analizę termiczną przeprowadzano w stosunku do próby kontrolnej oraz masy jajowej poddanej największej ilości impulsów (tj. 90) przy różnym napięciu (26 kV, 46 kV, 66 kV). Wyznaczono temperaturę początkową przemiany fazowej (rys. 3), określoną nie poprzez interpolację (T_o) przy wykorzystaniu krzywej piku maksymalnego, ale bezpośrednio na końcu pierwszej linii bazowej (T_p). Oznaczono temperaturę,

w której ma miejsce maksimum przemiany fazowej (T_{max}), entalpię przemiany (ΔH) oraz określono na podstawie ekstremalnych wartości (E_1 , E_2) pochodnej sygnału DSC (DDSC) przedział dzielący od siebie te dwie wartości celem określenia zakresu, w którym przemiana termiczna przebiega najszybciej.

Wyniki badań zweryfikowano statystycznie za pomocą jednoczynnikowej analizy wariancji, stosując komputerowy pakiet Statistica 5.0.

Wyniki i dyskusja

W eksperymencie badano wpływ impulsów silnego pola elektrycznego na niektóre parametry reologiczne (w ujęciu termomechanicznym), termiczne i funkcjonalne (barwa). Choć wiele prac badawczych dotyczy redukcji mikroflory [3, 4, 6, 9], to ich stosunkowo niewielka liczba odnosi się do wysokonapięciowych oddziaływań elektrycznych [15, 16]. Przed przystąpieniem do badań przedstawionych w niniejszej pracy, przeprowadzono niezależną serię analiz pod kątem mikrobiologicznym, co zostało częściowo opublikowane [13].

Właściwości termomechaniczne

We wszystkich czterech wariantach wyznaczono wartości temperatury oraz odpowiadające im wartości tangensa delta [$\text{tg } \delta$] początku i końca przemiany fazowej, jak również wartości $\text{tg } \delta$ w temperaturze 50 i 90°C. Wyniki zestawiono w tab. 1.

Tabela 1

Parametry analizy termomechanicznej masy jajowej poddanej oddziaływaniom pól wysokiego napięcia. Parameters of thermomechanical analysis of liquid whole egg (LWE) after high voltage treatment.

Lp.	Wariant [napięcie - liczba impulsów] Treatment [voltage - num- ber of impulses]	Wartość tangensa delta dla temp. 50°C Value of tangent delta for tempera- ture 50°C	Początek przemiany fazowej Beginning of phase transition		Koniec przemiany fazowej End of phase transition		Wartość tangensa delta dla temp. 90°C Value of tangent delta for tempera- ture 90°C
			T_o [°C]	$\text{tg } \delta$ [-]	T_k [°C]	$\text{tg } \delta$ [-]	
1.	kontrola	1,1021 ^a	80,1 ^a	1,0986 ^a	85,9 ^a	0,2956 ^a	0,2798 ^a
2.	26 kV-90	1,0706 ^{ab}	80,9 ^b	1,0658 ^{ab}	86,2 ^a	0,2714 ^{ab}	0,2565 ^b
3.	46 kV-90	1,0398 ^b	81,1 ^b	1,0311 ^b	86,4 ^a	0,2654 ^b	0,2511 ^b
4.	66 kV-90	1,0256 ^b	81,2 ^b	1,0199 ^b	86,3 ^a	0,2588 ^b	0,2495 ^b

Jednakowe litery oznaczają grupy jednorodne (w ramach parametrów) przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$; liczność prób $n = 5$

Oddziaływania elektryczne wpłynęły w sposób istotny statystycznie na obniżenie wartości parametru delta, wyznaczonego zarówno w temperaturze 50°C, jak i 90°C. We wszystkich trzech wariantach, gdzie zastosowano silne pola elektryczne, wartości temperatury początku przemiany fazowej wyznaczonej na podstawie tangensa delta były wyższe o ok. 1°C. W próbie kontrolnej początek przemian miał miejsce w temp. 80,1°C, w pozostałych przypadkach w temperaturze ok. 81,0°C. Oddziaływania elektryczne nie wpłynęły w istotny sposób na temperaturę końcową przemiany fazowej, która miała miejsce w ponad 86°C. Można zatem stwierdzić, że silne pola elektryczne zawężyły temperaturowy przedział przemian termicznych białek masy jajowej – w ujęciu termomechanicznym (wyznaczony na podstawie tangensa delta), który wynosił od $T_0 \approx 81^\circ\text{C}$ do $T_K \approx 86^\circ\text{C}$.

Wysokość zastosowanego napięcia nie miała statystycznie istotnego wpływu na sprężystość żeli (tg δ przy 90°C). Jednak w odniesieniu do próby nie poddanej oddziaływaniu elektrycznemu stwierdzono nieco słabszą sprężystość, co sugeruje, że istnieje niewielki wpływ oddziaływań impulsów silnego pola elektrycznego na wzrost cech sprężystych żeli.

Właściwości termiczne (DSC)

Na podstawie uzyskanych wyników (tab. 2) stwierdzono, że masa jajowa poddana oddziaływaniom silnych pól elektrycznych, w swojej charakterystyce, niewiele różni się od próby kontrolnej. Nie stwierdzono istotnego wpływu pól na zmiany parametru T_{\max} , zaś w odniesieniu do T_p wystąpiły przesunięcia tego parametru o wartość nie większą niż 2°C. W jednym przypadku odnotowano statystycznie istotne obniżenie wartości entalpii o ok. 0,2 mJ/mg – była to próba po najsilniejszym oddziaływaniu impulsów silnego pola elektrycznego (66 kV/90 impulsów). Przyczyną obniżenia wartości entalpii było uprzednie dostarczenie do układu energii w postaci elektrycznej. Z tego też względu, całkowita ilość dostarczonej energii podczas przejścia fazowego przy przeprowadzonej analizie DSC była niższa, co przy ogólnie endotermicznym charakterze przemian polimerów masy jajowej skutkowało obniżeniem wartości entalpii.

Przemiany termiczne we wszystkich przypadkach charakteryzowały się największą dynamiką w zakresie temperatury od ok. 77–78°C do ok. 81°C, co wyznaczono na podstawie ekstremalnych wartości E_1 i E_2 pochodnej sygnału DSC (DDSC). Przedział ten był nieco szerszy w próbach poddanych oddziaływaniu pól o najwyższych napięciach (46 kV oraz 66 kV) i wynosił niespełna 4°C (w dwóch pozostałych przypadkach wynosił niewiele ponad 3°C). Analiza DSC wykazała, że odnotowano pewien wpływ oddziaływań pól elektrycznych o wysokim napięciu na charakterystykę termiczną badanych mas jajowych, lecz był on mniejszy aniżeli miało to miejsce w próbach po procesie pasteryzacji cieplnej [11].

Tabela 2

Podstawowe parametry analizy DSC masy jajowej poddanej oddziaływaniom impulsów silnych pól elektrycznych w odniesieniu do próby kontrolnej (niepoddanej oddziaływaniom).

Basic parameters of DSC analysis for LWE after high voltage treatment in compare to control.

Lp.	Wariant [napięcie -ilość impulsów] Treatment [voltage – number of impulses]	Temperatura początkowa przemiany termicznej Initial tem- perature of thermal transition Tp [°C]	Temperatura maksymalna przemiany termicznej Maximal temperature of thermal transition Tmax [°C]	Entalpia Enthalpy ΔH [mJ/mg]	Ekstremalne wartości DSC (DDSC) Extreme values of derivative of DSC (DDSC) [°C]	DDSC (przedział) DDSC (range) [°C]
1.	Kontrola	63,33 ^b	79,58 ^a	1,5 ^b	78,17-81,27	3,10 ^a
2.	26 kV-90	62,82 ^a	79,43 ^a	1,4 ^b	77,82-80,84	3,02 ^a
3.	46 kV-90	61,26 ^a	79,47 ^a	1,4 ^b	77,24-80,96	3,72 ^b
4.	66 kV-90	63,61 ^b	79,11 ^a	1,2 ^a	76,85-80,71	3,86 ^b

jednakowe litery oznaczają grupy jednorodne (w ramach parametrów) przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ licznosc prób (n) = 5

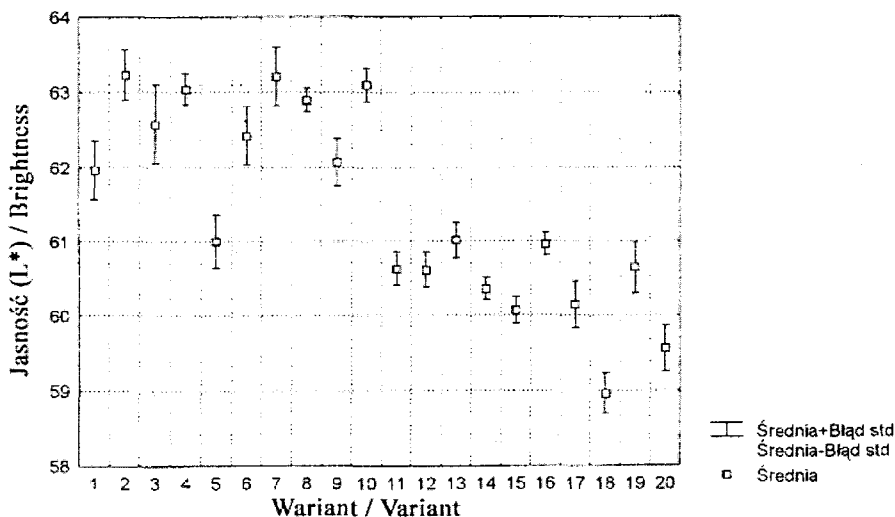
Wykorzystywanie tylko pojedynczej techniki, np. DSC może prowadzić do pominięcia pewnych przemian, których dana technika nie jest w stanie wykryć. Przemiany rodzaju egzo- i endotermicznego występujące w tym samym układzie podczas jednego lub następujących blisko siebie przejść fazowych mogą nie do końca dać prawdziwy obraz co do charakteru tych przemian. Dla przykładu, awidyna przejawiająca pierwsze cechy zmętnienia w temperaturze około 70°C, przy wykorzystaniu techniki DSC wykazuje początek termicznej denaturacji dopiero przy 75°C [1]. Tak samo reologiczne testowanie dynamiczne (np. TMA) nie pokazuje żadnych zmian w reotermogramach aż do osiągnięcia temperatury około 77–80°C, chociaż w niższej temperaturze również mają miejsce zmiany denaturacyjne (np. konalbumina przy ok. 65°C). Przemiany fazowe w ujęciu TMA zaczynają się dopiero z początkiem denaturacyjnych przemian głównego białka części białkowej jaja – owoalbuminy. Podane przykłady wskazują, że w celu prowadzenia badań nad charakterystyką określonego układu wskazane jest używanie przynajmniej dwóch odmiennych metod badawczych (np. TMA i DSC), dzięki którym można dokonać pomiarów związanych z przemianami na tle energetycznym [1].

Barwa

Poza przeprowadzonymi badaniami właściwości reologicznych masy jajowej dokonano również pomiaru barwy, która w charakterystyce jaj i ich produktów jest jed-

nym z podstawowych kryteriów oceny konsumenckiej. Określone preferencje w tym zakresie, w poszczególnych krajach [12] są zróżnicowane i praktycznie opierają się na doznaniach estetycznych. Barwa masy jajowej w dużej mierze zależy od zawartych w żółtku barwników karotenoidowych [2].

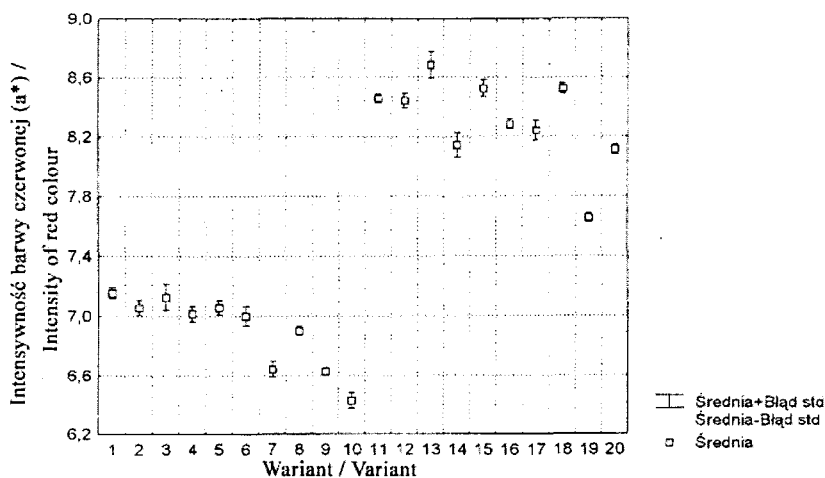
Na rys. 4., 5., 6. przedstawiono wpływ impulsów silnego pola elektrycznego na zmianę barwy (parametry L^* , a^* , b^*) masy jajowej. Pomiaru barwy dokonano ponownie po 5 dniach chłodniczego jej przechowywania (w 4°C), aby określić wielkość zmian analizowanych parametrów. Zgodnie z podanym układem (tab. 3) zastosowano 20 wariantów [2 różne czasy oznaczeń barwy \times (3 wartości napięcia \times 3 różne liczby impulsów + 1 próba kontrolna)].



Rys. 4. Barwa masy jajowej po oddziaływaniach elektrycznych ($n = 7$) - średnie wartości parametru L^* . Pomiar dokonano niezwłocznie po oddziaływaniach (warianty 1-10) oraz po 5 dniach (warianty 11-20).

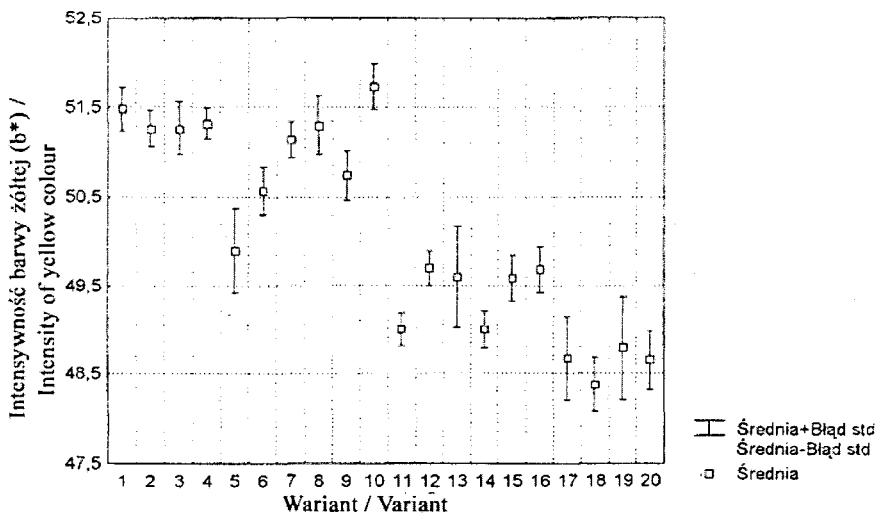
Fig. 4. Colour of LWE after high voltage treatment - average values of L^* parameter (variants 1-10 - measurements after high voltage treatment, variants 11-20 - after 5 days of storage).

Parametr barwy L^* (jasność), w grupie oznaczeń dotyczących barwy (rys. 4) masy jajowej, zmierzony bezpośrednio po oddziaływaniach pól elektrycznych zawierał się w zakresie 61,0–63,2 (przy wartości próby kontrolnej 62,0). We wszystkich przypadkach (poza wariantem 5.) miał miejsce nieznaczny wzrost wartości L^* , nie więcej niż 0,2 jednostki (w ramach wariantów 1 - 10). W odniesieniu do parametru a^* (intensywność barwy czerwonej) zaobserwowano (rys. 5) statystycznie istotne obniżenie jego wartości, ale tylko w przypadku oddziaływań polem o wyższym napięciu i większej liczby impulsów (warianty 6–10). Nawet w takim przypadku bezwzględna różnica pomiędzy najniższą wartością parametru a^* a próbą kontrolną wynosiła zaledwie 0,8 jednostki.



Rys. 5. Barwa masy jajowej po oddziaływaniach elektrycznych ($n = 7$) - średnie wartości parametru a^* (pomiar dokonany niezwłocznie po oddziaływaniach (warianty 1-10) oraz po 5 dniach warianty (11-20)).

Fig. 5. Colour of LWL after high voltage treatment - average values of a^* parameter (variants 1-10 - measurements after high voltage treatment, variants 11-20 - after 5 days of storage).



Rys. 6. Barwa masy jajowej po oddziaływaniach elektrycznych ($n = 7$) - średnie wartości parametru b^* (pomiar dokonany niezwłocznie po oddziaływaniach (warianty 1-10) oraz po 5 dniach warianty (11-20)).

Fig. 6. Colour of LWL after high voltage treatment - average values of b^* parameter (variants 1-10 - measurements after high voltage treatment, variants 11-20 - after 5 days of storage).

Zależności takiej nie zaobserwowano w przypadku parametru b^* (rys. 6), gdzie w porównaniu z próbą kontrolną większość przypadków (poza wariantami 5 i 10) nie różniła się statystycznie od próby kontrolnej ($b^* = 51,5$). Można stwierdzić, że impulsy silnych pól elektrycznych nie wpłynęły znacząco na zmianę barwy masy jajowej mierzonej bezpośrednio po oddziaływaniach.

Tabela 3

Numery kodów (1-20) użyte na rysunkach 4, 5, 6.
Code numbers (1-20) used on Fig. 4, 5, 6.

Liczba impulsów Number of impulses	Napięcie / Voltage 26 kV	Napięcie / Voltage 46 kV	Napięcie / Voltage 66 kV
	Pomiar dokonany zaraz po oddziaływaniach (0 dni) / Measurement immediately after treatment		
1. kontrola (nie poddawana oddziaływaniom elektrycznym) / control (not treated)			
30	2	5	8
60	3	6	9
90	4	7	10
Pomiar dokonany 5 dni po oddziaływaniach / Measurement 5 days after treatment			
11. kontrola (nie poddawana oddziaływaniom elektrycznym) / control (not treated)			
30	12	15	18
60	13	16	19
90	14	17	20

Pomiary dokonane po 5 dniach (II seria) różniły się pod względem parametrów barwy $L^*a^*b^*$ (warianty 11-20) w porównaniu z I serią pomiarów dokonanych w dniu oddziaływań elektrycznych. Zakres wartości parametru L^* wynosił 59,0-61,0, a średnia II serii była niższa o około 2 jednostki w porównaniu ze średnią I serii (rys. 4). Najmniejszemu obniżeniu wartości L^* po 5 dniach przechowywania uległa próba kontrolna, co wskazuje na istnienie wpływu pomiędzy obróbką elektryczną a szybszym stopniem ciemnienia prób w miarę przechowywania. Zaobserwowano również w serii II wzrost średniej wartości parametru a^* (zakres 7,7-8,7) oraz spadek parametru b^* (zakres 48,8-49,7). Zarówno parametr a^* , jak i b^* (rys. 5, 6) nie różniły się znacząco w porównaniu z innymi wynikami w ramach serii II. Zaobserwowano wprawdzie statystycznie istotne zróżnicowanie w ramach wariantów 11-20, ale w liczbach bezwzględnych różnice te wynosiły nie więcej niż 1 jednostkę.

Czynnikiem bardziej różnicującym barwę był czas pomiaru (zaraz po oddziaływaniach lub po 5 dniach), aniżeli sama obróbka elektryczna. Dlatego też należy przyjąć, że przy braku stosowania dodatków mających na celu utrzymanie barwy na określonym poziomie, należy się liczyć ze stosunkowo niewielkimi zmianami zabarwienia masy jajowej po oddziaływaniach elektrycznych (głównie w zakresie parametrów L^* oraz b^*). Zmiany te przebiegały głównie w kierunku barwy ciemniejszej (niższe L^*) i

o mniejszej intensywności koloru żółtego (niższe b^*). Wydaje się zatem słuszne poszukiwanie takich dodatków [5], które miałyby za zadanie m.in. maksymalnie chronić barwę przed zmianami, zwłaszcza w aspekcie obróbki elektrycznej i późniejszego jej przechowywania. Uzyskane wyniki, dotyczące barwy po oddziaływaniach energetycznych, trudno jest odnieść do innych badań z tego względu, że w literaturze brak jest opisów zmian barwy w takim kontekście.

Podsumowanie

W prezentowanej pracy skoncentrowano się na określeniu właściwości reologicznych, termicznych oraz barwy masy jajowej po oddziaływaniach silnych pól elektrycznych. Oddziaływania pola elektrycznego (26, 46, 66 kV) nie zmieniły w istotny sposób parametrów barwy masy jajowej (w szczególności L^* oraz b^*). Również analiza wyróżników reologicznych (TMA) oraz termicznych DSC ($T_p \approx 61\div 63^\circ\text{C}$ zbliżone była do wartości T_p próby kontrolnej wynoszącej $\sim 63^\circ\text{C}$) wskazała na mniejsze zmiany w porównaniu do oddziaływań cieplnych [11].

Masa jajowa poddana uprzednim oddziaływaniom elektrycznym charakteryzowała się wyższą początkową temperaturą przemiany fazowej $T_0 \approx 81^\circ\text{C}$ (wyznaczoną za pomocą tangensa delta) w porównaniu z masą pasteryzowaną tradycyjnie [11]. Wpływ impulsów silnego pola elektrycznego na masę jajową przejawiał się również zawężeniem zakresu przemiany fazowej ($\sim 81^\circ\text{C} \div \sim 86^\circ\text{C}$) w ujęciu termomechanicznym, w porównaniu z podobnymi analizami po procesie ultrapasteryzacji [11]. Właściwości termomechaniczne masy jajowej po oddziaływaniach impulsów silnych pól elektrycznych, przy maksymalnym napięciu 66 kV, nie wykazały znaczących różnic w porównaniu z kontrolną próbą masy jajowej, co czyni metodę interesującą alternatywą w stosunku do klasycznych sposobów pasteryzacji.

Technika oddziaływania silnych pól elektrycznych scharakteryzowana częściowo w pracy pod względem reologicznym, termicznym oraz barwy wymaga dalszych intensywnych badań w szczególności nad zapewnieniem bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktu, co wydaje się możliwe poprzez prawidłowy dobór i optymalizację zastosowanych parametrów, tj.: wysokość napięcia – liczba impulsów – częstotliwość impulsów – biegunowość napięcia – kształt i rodzaj zastosowanej elektrody.

LITERATURA

- [1] Barbut S., Findlay C.J.: Thermal analysis of egg proteins. Thermal analysis of foods. V.R. Harwalkar and C.-Y. Ma ed., Elsevier Applied Science, 1990, s. 126-148.
- [2] Bednarczyk M.: Wpływ czynników dziedzicznych oraz warunków środowiskowych chowu kur na jakość jaj: Technologia jaj. Praca zbiorowa pod red. A. Płotki, WNT, Warszawa 1991, s. 83-106.
- [3] Board R.G., Tranter H.S.: The microbiology of eggs. In: Egg Science and Technology, ed. Stadelman W.J. and Cotterill O.J., Food Products Press, New York, London 1995, s. 81-104.

- [4] Foegeding, P.M., Stanley, N.W.: Growth and inactivation of microorganisms isolated from ultrapasteurized egg, *J. Food Sci.*, **52**, 1987, 1219-1223, 1227.
- [5] Giese J.: Ultrapasteurized liquid whole eggs earn 1994 IFT Food Technology Industrial Achievement Award, *Food Technol.*, **48(9)**, 1994, 94-96.
- [6] Lith L.A.J.T. van, Putirulan F.F., Mulder R.W.A.W.: Pasteurization of table eggs to eliminate *Salmonellae*, *Arch. Gefl + gelk.*, **59**, 1995, 157-160.
- [7] Mazurek B., Lubicki P., Staroniewicz Z.: Effect of short HV pulses on bacteria and fungi. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Instalation*, **2, 3**, 1995, 418-425.
- [8] Mazurek B., Mączka T.: Badania wstępne pasteryzacji cieczy spożywczych przy pomocy impulsów silnego pola elektrycznego, Sprawozdanie nr 504-2104-26-ZM/MU-22/99, Laboratorium Badawcze Oddziału Wrocławskiego Instytutu Elektrotechniki, Wrocław, 1999.
- [9] Moore, J., Madden, R.H.: Detection and incidence of *Listeria* species in blended raw egg, *J. Food Prot.*, **56**, 1993, 652-654,660.
- [10] Oziembłowski M.: Parametry analizy termomechanicznej na przykładzie badań masy jajowej. *Żywność, Nauka. Technologia. Jakość.* **3(20) Supl.**, 1999, 151-159.
- [11] Oziembłowski M.: Właściwości reologiczne, termiczne i funkcjonalne masy jajowej poddanej ultrapasteryzacji, 2002, praca złożona do druku.
- [12] Oziembłowski M., Grashorn M.: Estimating Roche colour fan numbers by $L^*a^*b^*$ values: methodological aspects, *Proceed. of the 7th European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*, Poznań, 1997, 284-291.
- [13] Oziembłowski M., Trziszka T., Malicki A., Mazurek B.: The effect of high voltage on liquid whole egg microflora, *Proceed. VIII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products*, Vol. II, Bologna, Italy, 1999, 543-547.
- [14] Reznik D.: Ohmic heating of fluid foods. *Food Technol.*, **50, 5**, 1996, 250-251.
- [15] Reznik D.: Electroheating technology promises to send shock waves through the food processing industry, *Raztek Corporation 1039 Kiel Court, Sunnyvale, CA 94089*, 1998.
- [16] Staroniewicz Z., Lubicki P., Mazurek B.: Dezaktywacja bakterii przy użyciu wysokich napięć impulsowych, *Med. Wet.*, **50(12)**, 1994, 615-617.
- [17] Wu H., Kolbe E., Flugstad B., Park J.W., Yongsawatdigul: Electrical properties of fish mince during multi-frequency ohmic-heating, *J. Food Sci.*, **63(6)**, 1998.

EFFECT OF HIGH VOLTAGE TREATMENT ON RHEOLOGICAL, THERMAL PROPERTIES AND COLOUR OF LIQUID WHOLE EGG

S u m m a r y

Effect of high voltage treatment (26, 46, 66 kV) on rheological and thermal properties and colour of liquid whole egg (LWE) was studied. High voltage treatment influenced less on investigated parameters of LWE in compare to thermal pasteurization. High voltage treatment could be alternative way for traditional thermal pasteurization only when product is safe according microbiological standards. Microbiological aspects should be taken into account during next investigations on influence of high voltage treatments on food products.

Fragment pracy doktorskiej:

Promotor: Prof. dr hab. Tadeusz Trziszka, Akademia Rolnicza, Wrocław.

Recenzenci: Prof. dr hab. Jacek Kijowski, Akademia Rolnicza, Poznań,

Prof. dr hab. Jerzy Borowski, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, Olsztyn. ✠