

Dr Agata GÓRSKA
 Dr Mariola KOZŁOWSKA
 Wydział Technologii Żywności, SGGW w Warszawie

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA ULTRAD WIEKÓW W PRZETWÓRSTWIE MIĘSA®

Część I

WPŁYW ULTRAD WIEKÓW NA KRUCHOŚĆ MIĘSA, STRUKTURĘ TKANKI ŁĄCZNEJ I MIĘŚNIOWEJ

Liczne badania potwierdziły możliwość szerokiego zastosowania ultradźwięków w analizie i przetwórstwie żywności. Założeniem prezentowanej w artykule pracy było przedstawienie, w jaki sposób ultradźwięki zmieniają właściwości fizyczne i biochemiczne mięsa. W części I artykułu przedyskutowano wpływ sonifikacji na kruchość mięsa, strukturę tkanki łącznej i mięśniowej. Wykazano, że w próbkach poddanych działaniu ultradźwięków dochodzi do zmian organoleptycznych, m.in. poprawy kruchości i soczystości.

WSTĘP

Nieustanny rozwój wielu dziedzin nauki oraz wciąż rosnące wymagania konsumentów dotyczące jakości i bezpieczeństwa spożywanych produktów niejednokrotnie wymagają zastosowania nowych technik w technologii żywności. Obecnie coraz więcej uwagi poświęca się ultradźwiękom jako metodzie znajdującej szerokie zastosowanie zarówno w analizie, jak również w przetwórstwie spożywczym. W badaniu żywności pomocne okazały się ultradźwięki o niskim (poniżej 1 W/cm²), średnim (1-10 W/cm²) oraz wysokim (10-1000 W/cm²) natężeniu.

Ultradźwięki o niskim natężeniu nie wywołują trwałych zmian fizykochemicznych właściwości materiału i jako metoda nieinwazyjna są obecnie szeroko stosowane zarówno w diagnostyce medycznej, jak również w analizie żywności. Technika ta pozwala ustalić grubość tkanki tłuszczowej zwierząt hodowlanych i tusz oraz skład surowych przetworów mięsnych na różnych etapach dojrzewania, ich teksturę, strukturę i wielkość wycieku soku mięśniowego. Głównymi zaletami stosowania ultradźwięków o niskim natężeniu są: szybkość, nieinwazyjność oraz łatwość zaadaptowania metody do pomiarów on-line.

Ultradźwięki o średnim i wysokim natężeniu, wywołujące w badanym materiale wiele zjawisk o charakterze fizykochemicznym i biologicznym, znalazły zastosowanie m.in. w technologii przetwórstwa mięsa, umożliwiając znaczne modyfikacje poszczególnych jego elementów, kształtując w sposób istotny cechy produktu końcowego. Wydłużona ekspozycja mięsa na ultradźwięki o wysokim natężeniu może prowadzić do znaczącej poprawy kruchości, jak również właściwości fizycznych surowca, tj. zdolności wiązania wody i spoistości.

Założeniem I części pracy było wykazanie, w jaki sposób ultradźwięki wpływają na biochemiczne i fizyczne właściwości mięsa, jego kruchość, właściwości tkanki łącznej i mięśniowej.

WPŁYW ULTRAD WIEKÓW NA KRUCHOŚĆ MIĘSA

Jedną z podstawowych cech decydujących o jakości mięsa, jego przydatności technologicznej i walorach konsumpcyjnych jest kruchość. Zależy ona od wielu czynników, między innymi składu tkankowego mięsa oraz modyfikacji, jakie zachodzą w białkach włókien mięśniowych i zmian w tkance

łącznej po uboju i w okresie dojrzewania. Często kruchość mięsa jest definiowana jako wartość siły cięcia, mierzonej 48 godzin po uboju. Istnieje możliwość jej kontroli i poprawy za pomocą metod:

- fizycznych w drodze elektrycznej stymulacji,
- chemicznych przez nastryk roztworem chlorku sodu, chlorku potasu, polifosforanów,
- biochemicznych przez aktywację enzymów egzo- i endogennych.

Ostatnio tematem wielu badań stała się możliwość poubojowego kształtowania kruchości mięsa z użyciem technik ultradźwiękowych. Fale ultradźwiękowe przechodząc przez biologiczne struktury mięsa mogą prowadzić do ich fizycznego osłabienia oraz sprzyjać kawitacji. Zostaje ona wywołana przez implozję małych pęcherzyków generujących wstrząs uderzeniowy odpowiedzialny za uszkodzenie ośrodka, w którym ta fala się rozchodzi, czy też struktury występującej w jej otoczeniu.

Wymiar efektu uzyskiwanego poprzez sonifikację uzależniony jest od parametrów akustycznych, tj. natężenia, częstotliwości, czasu trwania impulsu oraz temperatury procesu. Wykazano, że użycie ultradźwięków o niskim natężeniu (do 2 W/cm²) nie powoduje zmian w histologicznej strukturze mięśni *Semitendinosus* (mięsień półścięgnisty) i nie poprawia ich kruchości [1]. W przypadku próbek mięśni *Semitendinosus* zanurzonych w solance i poddanych działaniu ultradźwięków o częstotliwości 25,9 kHz przez 2 do 4 minut uzyskano obniżenie twardości mięsa w porównaniu z próbką kontrolną, ponieważ użycie solanki zwiększyło próg kawitacji i związane z tym ciśnienie, a tym samym wpłynęło pozytywnie na otrzymane wyniki [2]. Dickens i wsp. (1991) przeprowadzili podobne eksperymenty (40 kHz, 2,400 W) z mięśniami piersiowymi brojlerów kurzych i stwierdzili obniżenie siły cięcia, będące wynikiem uszkodzenia składników tkanki mięśniowej poprzez kawitację [3]. Zaobserwowano również wzrost temperatury o 3-4°C. Sprzeczne z powyższymi wyniki badań, uzyskano w przypadku mięśni wołowych *Pectoralis* poddanych działaniu ultradźwięków (20 kHz, 22 W/cm², 5 i 10 minut) [4]. Nie odnotowano zmian we właściwościach mechanicznych, organoleptycznych oraz cieplnych mięsa. Prawdopodobnie jest to spowodowane wyższym udziałem tkanki łącznej w tych mięśniach oraz silniejszym jej usieciowaniem. Również zastosowane natężenie i czas trwania impulsu mogły być niewystarczające, aby spowodować istotne

uszkodzenie komórek prowadzące do wzrostu kruchości mięsa. Brakiem wpływu na kruchość mięśni wołowych *Longissimus* (mięsień najdłuższy), *Semitendinosus* i *Biceps femoris* (mięsień dwugłowy uda) zakończyły się także doświadczenia z użyciem dostępnych w handlu łaźni ultradźwiękowych działających w przedziale intensywności 0,29-0,62 W/cm² i częstotliwości 30-47 kHz [5]. Nie stwierdzono również poprawy kruchości, rozpuszczalności kolagenu w fazach pre-rigor i post-rigor mięśni wołowych *Semimembranosus* (mięsień półbłoniasty) i *Longissimus*, gdy zastosowano sondy, umożliwiające wygenerowanie ultradźwięków o znacznie wyższych intensywnościach (62 W/cm²) [6]. W innych badaniach przeprowadzonych na próbkach mięśni izolowanych zauważono, po działaniu ultradźwiękami, znaczny rozpad proteolityczny, a w konsekwencji wzrost kruchości [7]. W mięśniach nieizolowanych efekt ten był istotnie słabszy ze względu na grubość warstwy i brak możliwości penetracji promieniowania w głąb materiału. Sprzeczne doniesienia dotyczące wpływu ultradźwięków na kruchość mięsa trudne są do analizy ze względu na użycie do badań różnych mięśni, różnicę wieku zwierząt, zastosowaną aparaturę ultradźwiękową oraz parametry eksperymentu.

WPŁYW ULTRAD WIEKÓW NA STRUKTURĘ TKANKI ŁĄCZNEJ

Wpływ ultradźwięków na tkankę łączną, głównie kolagen, stanowi temat wielu doświadczeń. Wykazano w nich, że modyfikacje w budowie i właściwościach tkanki łącznej mogą prowadzić do znacznej poprawy tekstury produktu. Badano m.in. wpływ ultradźwięków na fragmentację cząsteczek kolagenu wyekstrahowanych z rozpuszczalnej skóry cielęcej [8]. Wykazano, że poddane sonifikacji (9 kHz) w niskiej temperaturze długie, sztywne makromolekuły kolagenu ulegają fragmentacji, zachowując jednak strukturę potrójnie zwiniętej helisy. Również Alligar (1975) w swojej pracy donosił o zachowaniu przez tropokolagen oryginalnej helikalnej struktury w ultradźwiękowo dzielonych fragmentach i dążności tych ultrastruktur do agregowania [9]. Określono zależność pomiędzy czasem działania impulsu a stopniem rozpadu molekuł kolagenu oraz wskazano preferowane miejsce pęknięcia makromolekuł (1/4-3/4 długości cząsteczki) [8]. Tego typu rozpad łańcucha makromolekuły może wystąpić w rejonie występowania słabych wiązań w wyniku kawitacji pęcherzykowej [9]. Podczas działania ultradźwięków dochodzi do rozpadu cząsteczek w procesie kawitacji poprzez destrukcję mechaniczną. Dłuższa ekspozycja ultradźwięków prowadzi do modyfikacji w budowie polimerów poprzez wpływ sonochemiczny – tworzenie wolnych rodników (rodniki hydroksylowe, atomy wodoru, nadtlenuk wodoru, tlen cząsteczkowy), które są odpowiedzialne m.in. za rozpad mostków wodorowych i powstanie dalszych zmian destrukcyjnych [9, 10]. Prace prowadzone w Leatherhead Food Research Institute, dotyczące zastosowania ultradźwięków o wysokich natężeniach do modyfikacji właściwości tkanki łącznej, wykazały poprawę tekstury poddanych doświadczeniu mięśni wołowych *Longissimus* [11]. Got (1999) wykazał brak wpływu ultradźwięków (10 W/cm²; 2,6 MHz) w fazie pre- i post-rigor na ilość nierozpuszczalnego kolagenu w tkance [12]. Można zatem wnioskować, że w warunkach eksperymentu nie doszło do wyżej opisanego zjawiska kawitacji ze względu na zbyt wysoką częstotliwość fali (powyżej 2,5 MHz) [9, 12, 13].

WPŁYW ULTRAD WIEKÓW NA STRUKTURĘ TKANKI MIĘŚNIOWEJ

Liczne badania wykazały znaczący wpływ obróbki ultradźwiękami o odpowiednio dobranych parametrach na właściwości biofizyczne tkanki mięśniowej. Potwierdzono, że ultradźwięki o wysokim natężeniu są zdolne do inicjowania procesu kawitacji wewnątrz tkanki mięśniowej, co powoduje mechaniczne niszczenie struktury mięśnia oraz rozpad kompleksu aktomiozyny na aktynę i miozynę [14]. Ronacles i wsp. (1992) przeprowadzili eksperyment z zastosowaniem ultradźwięków na izolowane jagnięce mięśnie szkieletowe zanurzone w buforze fosforanowym o pH 7 [15]. Zaobserwowali powolny rozpad błon komórkowych, który stawał się silniejszy po zwiększeniu mocy i czasu trwania procesu. Pojawienie się po 2 dniach peptydów o masie molowej 30 kDa mogło być wynikiem ultradźwiękowej aktywacji proteolizy. Z kolei Stagni i Bernard (1968) działając ultradźwiękami na homogenat wołowych mięśni szkieletowych zauważyli wzrost aktywności katepsyny [7]. Wyniki te wskazują na zwiększone prawdopodobieństwo wystąpienia degradacji miofibrili oraz innych składników komórkowych podczas sonifikacji. Natomiast w eksperymencie przeprowadzonym przez Lynga (1998) na mięśniach wołowych (*Longissimus*, *Semitendinosus*, *Biceps femoris*) i jagnięcych (*Longissimus*) nie wykazano obecności protein o masie molowej 25-30 kDa [6, 16]. Nie wystąpiła bowiem miofibrilarna degradacja mięśni, gdyż w przypadku mięśni nieizolowanych, ultradźwięki słabo przenikają do wnętrza tkanek i nie powodują zmian w ich budowie. Ultradźwięki są jednak zdolne do modyfikacji właściwości białek, tj. struktury i aktywności enzymatycznej. Przykładem może być znacznie lepsza rozpuszczalność miozyny po 3 minutach działania ultradźwięków [17]. Dodatkowo obserwuje się wyższy poziom wolnych rodników w tkance mięśniowej oraz znaczący wzrost stężenia niektórych aminokwasów uwalnianych z białek mięśniowych. Wolne rodniki, powstające na skutek procesów chemicznych reagują z fragmentami białkowymi, powodując zrywanie wiązań wodorowych i dalsze zmiany w strukturze białek. Według El'pinera (1964) sonochemiczne rozszczepienie łańcuchów polipeptydowych i chemiczne zmiany końcowych aminokwasów zależą od rodzaju gazu obecnego podczas degradacji [18]. Poddając działaniu ultradźwięków białka w obecności tlenu powoduje się redukcję ich ciężaru cząsteczkowego, podczas gdy w obecności wodoru wpływa się na jego wzrost.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wykazały możliwość praktycznego wykorzystania ultradźwięków w procesie kształtowania tekstury mięsa. Wykazano, że próbki poddane sonifikacji charakteryzowały się znaczną poprawą kruchości. Obserwowano zmiany w budowie struktur białkowych sarkomeru włókien mięśniowych oraz znaczne modyfikacje właściwości tkanki łącznej. Spośród dodatkowych zalet technik ultradźwiękowych należy wymienić znaczną redukcję czasu i kosztów produkcji oraz podniesienie jakości produktu i wydajności procesu. Możliwość pełnej automatyzacji umożliwiła prowadzenie badań w sposób bezdotykowy i bezinwazyjny, znacznie poprawiający bezpieczeństwo żywności.

LITERATURA

- [1] Pohlman, F.W., Dikeman, M.E., Zayas, J.F.: The effects of low intensity ultrasound treatment on shear properties, colour stability and shelf-life of vacuum-packaged beef Semitendinosus and Biceps femoris muscle. *Meat Sci.*, 1997, 45 (3), 329-337.
- [2] Smith, N.B., Cannon, J.E., Novakofsky, J.E., McKeith, F.K., O'Brien, W.D., Jr.: Tenderization of Semitendinosus muscle using high intensity ultrasound, *Ultrasonics Symp. Lake Beuna Vista, Florida*, 1991, 2, 1371-1373.
- [3] Dickens, J.A., Lyon, C.E., Wilson R.L.: Effect of ultrasonic radiation on some physical characteristics of broiler breast muscle and cooked meat, *Poult. Sci.*, 1991, 70, 389-396.
- [4] Pohlman, F.W., Dikeman, M.E., Kropf, D.H.: Effects of high intensity ultrasound treatment, storage time and cooking method on shear, sensory, instrumental colour and cooking properties of packaged and unpackaged beef Pectoralis muscle, *Meat Sci.*, 1997, 46 (1), 89-100.
- [5] Lyng, J.G., Allen, P., McKenna, B.: The influence of high intensity ultrasound bath on aspects of beef tenderness, *The J. Musc, Foods*, 1997, 8, 237-249.
- [6] Lyng, J.G., Allen, P., McKenna, B.: The effect on aspects of beef tenderness of pre- and post-rigor exposure to a high intensity ultrasound probe, *J. Sci. Food Agric.*, 1998, 78, 308-314.
- [7] Stagni, N., Bernard, B.: Lysosomal enzyme activity in rat and beef skeletal muscle, *Biochim, Biophys. Acta*, 1968, 170, 129-139.
- [8] Nishira T., Doty P.: The sonic fragmentation of collagen macromolecules, *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1958, 44, 411-417.
- [9] Alligar H.: Ultrasonic disruption, *Am. Lab.*, 1975, 10, 75-85.
- [10] Coackley W.T., Nyborg W.L.: Cavitation; dynamics of gas bubbles; applications, *Ultrasound: Its Applications in Medicine and Biology Part 1*; Fry, F.J., Ed., Elsevier Scientific Publishing: New York, 1978, 3, 77-153.
- [11] Roberts T.: Sound for processing food., *Nutr. Food Sci.*, 1991, 130, 17-18.
- [12] Got F., Culioli J., Berge P., Vignon X., Astruc T., Quideau J.M., Lethiecq M.: Effects of high-intensity high-frequency ultrasound on aging rate, ultrastructure and some physico-chemical properties of beef, *Meat Sci.*, 1999, 51, 35-42.
- [13] Mason T.J.: *Sonochemistry*, Oxford University Press, Oxford, 1999, 1-73.
- [14] Zayas, J.F., Gorbatow, W.M.: Use of ultrasonics in meat technology, *Fleischwirtschaft*, 1978, 6, 1009-1012.
- [15] Ronacles, P., Cena, P., Beltran, J.A., Jaime, I.: Ultrasonication of Lamb Skeletal, Muscle Fibres Enhances Post-mortem Proteolysis, 38th ICoMST Clermont-Ferrand, France, 1992, 411-414.
- [16] Lyng, J.G., Allen, P., McKenna, B.: The effects of pre- and post-rigor high intensity ultrasound treatment on aspects of lamb tenderness, *Lebensm-Wiss. Technol.*, 1998, 31 (4), 334-338.
- [17] Zayas, J.F., Strokova, N.D.: Influence of ultrasound on properties of meat proteins, XVIII Eur. Congr. Meat Res. Workers, 1972, 206-213.
- [18] El'piner, I.E. *Ultrasound: Physical, Chemical and Biological Effects*; Consultants Bureau: New York, 1964, 149-205.

THE POSSIBILITIES OF USE ULTRASOUNDS IN MEAT PROCESSING

Part I

THE INFLUENCE OF ULTRASOUNDS ON MEAT TENDERNESS, THE CONNECTIVE TISSUE AND MYOFIBRILLAR STRUCTURE

SUMMARY

Many investigations confirmed that ultrasonic waves could have a wide variety of applications in food analysis and processing. The object of this review was to present, how ultrasonic treatment of meat could change its psychical and biochemical properties. In part I of the study the effect of sonication on meat tenderness, structure of connective and myofibrillar tissues was discussed. It was shown that ultrasonic treatment of meat could be a process for the improvement of its sensory, particularly tenderness and juiciness.