Artykuł przeglądowy *Review*

Wybrane niekonwencjonalne metody utrwalania żywności

JERZY MOLENDA

Katedra Higieny Żywności i Ochrony Zdrowia Konsumenta Wydziału Medycyny Weterynaryjnej UP, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław

Molenda J.

Selected unconventional methods of food preservation

Summary

Consumers are becoming increasingly convinced that highly processed food products may have an adverse effect on their health of, and the effects of these products will only be fully revealed in future generations. The populations of developed countries consider the quality of life as being more important than its length. Thus, consumers in these countries increasingly prefer to purchase foodstuffs which are as natural and unprocessed as possible. Moreover, they prefer to consume long-storage foods, which are both simple and quickly prepared. In order to meet these expectations, non-thermal methods of food preservation have been developed. The three most popular of these which are applied on a practical basis include pulsed electric fields, high hydrostatic pressure processing and irradiation – especially in relation to food safety, and the lack of adverse sensorial effects on food products.

Keywords: non-thermal food conservation, pulsed electric field, high pressure, irradiation

Konieczność konserwowania żywności jest niewątpliwie konsekwencją rozwoju cywilizacji i towarzyszącego mu wzrostu liczby mieszkańców Ziemi, którzy muszą zaspakajać codzienne potrzeby w zakresie odżywiania. Odmienne warunki agroklimatyczne w różnych częściach świata, krótkotrwałe zwykle terminy zbiorów oraz wzrastające gwałtownie zaludnienie miast oddalonych od centrów produkcji rolnej sprawiają, że dostarczenie społeczeństwom żywności świeżej, zdrowej i w dostatecznej ilości staje się poważnym problemem. Straty wynikające z jej niewłaściwego przechowywania oraz konieczności transportu są obecnie oceniane w skali światowej na ponad 30%. Dzieje się tak mimo stosowania różnych sposobów konserwacji, dających szansę przedłużenia czasu jej przechowywania oraz bezpiecznego spożywania.

Wiele konwencjonalnych metod zapewnienia bezpieczeństwa żywości powoduje w niej różne niekorzystne zmiany. Wysoka temperatura jest przyczyną utraty tych jej składników, które są wrażliwe na destrukcyjne działanie ciepła (tiamina, kwas foliowy, ryboflawina, witamina C). Powoduje też denaturację białek i niekorzystne zmiany w teksturze, barwie i smaku produktów, a także indukuje powstawanie nowych związków przez wytworzenie kowalencyjnych wiązań, np. lizynoalaniny. Pasteryzacja minimalizuje powstawanie wymienionych zmian, ale zapewnia znacznie krótszy okres trwałości, nawet w warunkach chłodniczego przechowywania. Suszenie i mrożenie żywności także skutkuje pogorszeniem wartości odżywczej, szczególnie przy przedłużonym przechowywaniu. Sterylizacja radiacyjna z kolei nadal wzbudza nieufność konsumentów, a liczne chemiczne konserwanty nie są naturalnymi składnikami żywności i są niechętnie akceptowane przez konsumentów jako czynniki jej chemizacji. Od lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku wzrasta, szczególnie w krajach rozwiniętych, świadomość związku odżywiania z jakością życia i zdrowia. Utwierdza się przekonanie o niekorzystnym wpływie na organizm ludzki wysoko przetworzonej żywności, czego efekty mogą ujawnić się dopiero w przyszłych pokoleniach. W społeczeństwach państw zachodnich ważniejsza od długości życia staje się jego jakość. Stąd preferencje konsumentów w tych państwach przesuwają się w stronę żywności jak najmniej przetworzonej, naturalnej. Ponadto zmiany socjoekonomiczne i pozostające w związku z nimi zmiany stylu życia powodują, że konsumenci skłaniają się do żywności o długim okresie trwałości, a jednocześnie łatwo i w krótkim czasie przygotowywanej do spożycia. W poszukiwaniu dróg spełnienia tych społecznych oczekiwań opracowano szereg termicznych i nietermicznych metod utrwalania żywności, zapewniających wymagane przepisami standardy jej bezpieczeństwa. Działania zmieniające warunki środowiskowe żywności nie zawsze wystarczają. Drobnoustroje rozwijają strategie pozwalające im przetrwać w zmienionym środowisku. Ta presja środowiskowa sprawia, że po-

jawiają się zmiany w ich genomie, które pozwalają im wykorzystywać istniejące warunki nie tylko do przetrwania, ale także do rozwoju. Aktualnie najwięcej uwagi poświęca się tzw. nietermicznym metodom konserwacji, w których jako destruktory drobnoustrojów najczęściej wykorzystywane są: wysokie ciśnienie hydrostatyczne, pulsujące pole elektryczne i promieniowanie jonizujące.

Wysokie ciśnienia hydrostatyczne

Tą metodą komórki drobnoustrojów poddawane są działaniu wysokiego ciśnienia w komorach wypełnionych wodą lub innymi płynami i są szybko zabijane. Zagadnienie to badał już ponad 100 lat temu Bob Hite (17). Jednak dopiero po upływie 90 lat zainteresowano się ponownie tą metodą i zastosowano ją z powodzeniem w Japonii, w produkcji i utrwalaniu kilku produktów roślinnych. Zachęcające wyniki sprawiły, że technika ta wzbudziła szerokie zainteresowanie w świecie. Nazywana jest ona metodą ultrawysokich ciśnień hydrostatycznych (ultra high hydrostatic pressure) lub wysokich ciśnień hydrostatycznych (high hydrostatic pressure) albo metodą konserwowania z zastosowaniem ciśnienia hydrostatycznego (HPP – hydrostatic pressure processing).

Celem początkowych badań było przeciwdziałanie rozwojowi kwaśnego zepsucia w produktach o niskiej zawartości białka, takich jak: soki owocowe, dżemy i galarety, poprzez zniszczenie acidofilnej mikroflory, głównie drożdży, pleśni i bakterii fermentacji mlekowej, a także komórek potencjalnie patogennych drobnoustrojów (1, 2). Nie uwzględniano w nich potrzeby niszczenia przetrwalników laseczek z rodzajów *Clostridium* i *Bacillus*, gdyż zarówno ich kiełkowanie, jak i wzrost form wegetatywnych nie jest możliwy w środowisku o pH niższym od 4,6.

Aktualnie badane są możliwości wykorzystania wysokiego ciśnienia jako nietermicznej metody utrwalania produktów żywności, zarówno o pH niższym jak i wyższym od 4,6, a także tych o dużej zawartości białka. Działanie wysokiego ciśnienia rzędu 100 do 700 MPa bez współudziału innych czynników wpływających na przeżywanie drobnoustrojów (a_w, pH, temperatura) okazało się jednak niewystarczające dla zniszczenia niektórych patogenów. Skuteczność lub jej brak zależała także od rodzaju żywności, w której drobnoustrój był obecny (2, 9).

Mechanizm destrukcji drobnoustrojów

Działanie wysokiego ciśnienia (300-700 Mpa) na produkty zanieczyszczone drobnoustrojami powoduje 10-15% kompresję ich objętości oraz wzrost temperatury o 3°C przy kolejnych 100 Mpa jego zwiększania. Te zmiany mają charakter przejściowy i po ustąpieniu presji ciśnienia zarówno objętość, jak i temperatura produktu powraca do stanu pierwotnego. Jego oddziaływanie jednak inaktywuje drobnoustroje, doprowadzając do uszkodzeń dwuwarstwowej struktury lipidów błon cytoplazmatycznych oraz do rozerwania jonowych i wodorowych wiązań uczestniczących w hydrofobowej interakcji cząsteczek w komórce (15). Uszkodzeniom nie ulegają wiązania kowalencyjne. W efekcie dochodzi do zmian struktury przestrzennej makrocząsteczek (rozfałdowania), która zostaje przywrócona po ustąpieniu ciśnienia, jednak w odmiennej od pierwotnej konfiguracji (2, 9, 13, 15). Skutkuje to zmianą ich wcześniej posiadanych właściwości. Np. cząsteczki enzymów pod wpływem wysokiego ciśnienia mogą utracić trójwymiarową strukturę, co jest równoznaczne z ich inaktywacją. Zwiększanie kompresji, zbliżając do siebie cząsteczki produktu oraz ogrzewając je wzrastającym ciśnieniem, zwiększa też zakres zmian w ich strukturze molekularnej. Dotyczą one głównie drugorzędowej i trzeciorzędowej struktury białek oraz ich połączeń z innymi cząsteczkami (1, 15). W ich rezultacie liczne ważne dla życia komórki komponenty strukturalne i funkcjonalne ulegają letalnemu lub subletalnemu uszkodzeniu. Jakkolwiek uszkodzenia błony komórkowej uznawane są za główną przyczynę śmierci komórki, to poza nimi stwierdzano także destrukcję ściany komórkowej, inaktywację DNA i RNA oraz aktywowanie pewnych enzymów i lizę komórek (12). Te uszkodzenia potęgują się przy zwiększaniu ciśnienia, wydłużeniu czasu jego oddziaływania oraz wzroście temperatury, w której proces jest przeprowadzany (13). Spory bakterii są znacznie bardziej oporne, bo ich zniszczenie powoduje zastosowanie ciśnienia nie niższego niż 700 MPa. Prawdopodobnie dopiero wtedy inaktywacji ulegają enzymy uczestniczące w ich kiełkowaniu. Mniejsze ciśnienie, rzędu 200-300 HPa, podobnie jak szok cieplny aktywują spory, które kiełkując, stają się z kolei wrażliwe na działanie ciśnienia zabijającego komórki wegetatywne (9, 13).

Żywność w opakowaniach (produkty płynne i stałe) poddawana jest działaniu wysokich ciśnień hydrostatycznych w komorach wypełnionych wodą lub wodą z niewielkim dodatkiem oleju. Produkty płynne, np. soki owocowe mogą być wprowadzane bezpośrednio do komory ciśnieniowej, gdzie wzrost ciśnienia uzyskiwany jest przez bezpośrednie oddziaływanie na nie kompresji (12, 13).

Liczne badania potwierdzają skuteczność letalnego lub subletalnego uszkodzenia komórek patogennych drobnoustrojów oraz mikroflory gnilnej po zastosowaniu wysokiego ciśnienia hydrostatycznego (1, 9, 13, 15). Wyniki tych badań prowadzą do następujących wniosków:

– bakterie Gram-ujemne są bardziej wrażliwe na działanie ciśnienia od Gram-dodatnich; znaczenie ma również morfologia komórek, pałeczki są łatwiej niszczone niż ziarniaki,

– różnice wrażliwości dotyczą gatunków, a nawet szczepów w obrębie gatunku,

– szczep może być wrażliwy na działanie temperatury, a oporny na ciśnienie i *vice versa*,

– oporność na działanie ciśnienia wzrasta przy stałej konsystencji produktu, niższej a_w i wyższym pH jego środowiska,

– skuteczność destrukcji wzrasta wraz ze wzrostem zastosowanego ciśnienia, temperatury i czasu ich oddziaływania, ten ostatni parametr ma najmniejsze znaczenie,

– zastosowane ciśnienie może powodować tylko subletalne uszkodzenie komórek,

– włączenie właściwie dobranych chemicznych i fizycznych czynników o działaniu przeciw drobnoustrojom zwiększa skuteczność ich destrukcji.

Kinetyka wymierania komórek bakteryjnych, które poddano działaniu wysokiego ciśnienia jest podobna do powodowanej przez wysoką temperaturę. Redukcja liczby ośmiu różnych gatunków bakterii o 1 cykl logarytmiczny (1D), których zawiesiny w wodzie peptonowej poddano działaniu ciśnienia 345 MPa w temperaturze 50°C następowała po 10 sek. (1, 2). Okazało się, że odpowiednie dobranie tych parametrów umożliwia osiągnięcie redukcji o 5-6 cykli logarytmicznych po 5 min. Efekt ten można było zwiększyć o dalsze 1-3 cykli przez użycie jako składowej procesu destrukcji czynnika antybakteryjnego, tj. bakteriocyn np. nizyny (15).

Spory bakterii są z reguły oporne na działanie ciśnienia około 700 MPa, jeśli proces przeprowadza się w temperaturze otoczenia. Podwyższenie tej temperatury do 70°C sprawia, że staje się ono już skuteczne (1, 9, 12). Wnioski wynikające z badań wrażliwości spor są następujące:

– szybkość i rozmiary ich inaktywacji są proporcjonalne do zastosowanych parametrów ciśnienia (> 700 Mpa), temperatury (> 70°C) i czasu (co najmniej 30 min.),

– istnieją różnice wrażliwości na działanie ciśnienia, zależne od gatunku, a nawet szczepu bakterii,

– spory bakterii z rodzaju *Bacillus* są bardziej wrażliwe niż *Clostridium*,

– przetrwalniki w stanie uśpienia są bardziej oporne od znajdujących się w stanie spoczynku,

– w warunkach ciśnienia < 300 MPa (aktywacja) spory mogą kiełkować i wówczas mogą być niszczone przez fizyczne lub chemiczne środki antybakteryjne.

Wprawdzie inaktywacja spor w żywności o niskim pH nie jest konieczna, ale jest już pożądana dla eliminacji patogennych drobnoustrojów z rodzaju *Bacillus* i *Clostridium* z produktów o pH wyższym od 4,6. Jednak nawet przy zastosowaniu ciśnienia rzędu 800 MPa i temperatury od 60 do 90°C, trudno jest po 10-minutowej ekspozycji uzyskać redukcję ich liczby o 5 cykli logarytmicznych. Także aktywacja przetrwalników przez zastosowanie niższych wartości ciśnienia oraz ponowne poddanie ich procesowi HPP, nie zapewnia produktom wymaganej dla bezpieczeństwa konsumentów sterylności. Zapewnić natomiast ją może dwukrotne zastosowanie kombinacji wysokiego ciśnienia i wysokiej temperatury (12).

Pulsujące pole elektryczne (PPE)

Jest niekonwencjonalną metodą utrwalania żywności. Polega na poddaniu jej produktów krótkotrwałym impulsom elektrycznym o wysokiej intensywności, powodującym uszkodzenie błon komórkowych bakterii. Poddanie biologicznych komórek działaniu pola elektrycznego powoduje wzrost potencjału elektrycznego w ich błonach ponad naturalną wartość wynoszącą około 10 mV (8, 10, 18, 20). Uderzenia impulsów prądu o bardzo wysokim napięciu wytwarzają znaczną różnicę potencjałów pól elektrycznych między zewnętrzną a wewnętrzną warstwą błony cytoplazmatycznej. Jeśli wytworzony potencjał osiąga krytyczną dla błony wartość 1 V, następuje jej uszkodzenie. Proces ten prowadzi do elektroporacji (tworzenia się transbłonowych por), które wypełniają się przewodzącymi prąd roztworami białek i lipidów. Przewodzenie prądu skutkuje natychmiastową utratą ładunku przez błony i dekompozycją ich struktury. Zmiany te są odwracalne, jeśli dotyczą niewielkiej powierzchni błony. Indukcja potencjału większego od jego krytycznej wartości dla błon prowadzi do zwiększenia zarówno wielkości, jak i liczby powstających w niej por oraz do nieodwracalności tych zmian. W efekcie dochodzi do mechanicznej destrukcji błony cytoplazmatycznej i śmierci komórki (6, 8, 11, 18, 21).

Trzy grupy czynników determinują letalne działanie PPE na drobnoustroje. Są to właściwości pola (natężenie, częstotliwość pulsów, czas ekspozycji), właściwości drobnoustrojów (gatunek, koncentracja, stadium wzrostu) oraz właściwości środowiska produktu (przenikalność elektryczna, siła jonowa, temperatura, pH) (4, 8, 10). Inaktywacja drobnoustrojów ulega zwielokrotnieniu wraz ze wzrostem potencjału transbłonowego ponad jego wartość krytyczną oraz w miarę skracania czasu trwania impulsu (3, 16). Czas ekspozycji produktów na działanie PPE, konieczny dla zabicia drobnoustrojów jest tym krótszy, im wyższe zastosowano napięcia. Przy użyciu PPE o potencjale półtora raza wyższym od koniecznego do indukcji potencjału krytycznego błon, krytyczny czas ekspozycji (wymagany dla inaktywacji mikroflory) pozostaje niezmienny (3).

Jeśli zastosowano napięcia od 20 do 80 kV, PPE tylko nieznacznie podnosi temperaturę produktu. Skuteczna eliminacja różnych drobnoustrojów wymaga użycia różnych napięć i liczby pulsów. Skuteczność destrukcji drobnoustrojów zwiększa obniżenie pH produktu, podwyższenie temperatury (w przypadku spor do 80°C), traktowanie lizozymem, EDTA (8, 10). Stosowanie PPE umożliwia redukcję liczby drobnoustrojów w produktach o 2,5-5 cykli logarytmicznych, niezależnie od ich stanu fizycznego, a ponadto nie powoduje utraty składników odżywczych żywności i tylko nieznacznie zmienia jej cechy organoleptyczne (4, 9, 10, 19).

Sterylizacja radiacyjna

Już wczesne wyniki badań wykazały, że różne asortymenty żywności poddane działaniu promieni jonizujących nie stają się radioaktywne, natomiast wzrasta ich trwałość. Jednakże niekorzystnym zmianom ulegały ich właściwości sensoryczne (smak i zapach). Wyniki kolejnych badań wykazały, że napromienianie powoduje nieznaczną akumulację w żywności produktów radiolizy, których koncentracja jest niska i zbliżona do występującej w nieprzetworzonej żywności oraz w jej produktach poddawanych obróbce termicznej (5, 14).

W spektrum elektromagnetycznym energia istnieje w postaci fal elektromagnetycznych i jej intensywność rośnie wraz ze skracaniem się długości fali. Długość fali promieni światła widzialnego wynosi od 400 do 800 nm. Niewidzialne jest promieniowanie o długości fali > 800 nm (promienie podczerwone, fale radiowe, promieniowanie mikrofalowe) oraz < 300 nm (promienie UV, X, β i γ). Ekspozycja materii na działanie promieni światła widzialnego, promieniowanie długofalowe oraz UV nie powoduje zmian w strukturach atomów (14). Energia promieni X, β i γ, wybijając elektrony z ich zewnętrznych powłok oraz tworząc pary jonów, doprowadza do jonizacji środowiska. Przemiana atomów w jony nie wzbudza w nich radioaktywności, którą mogą wywołać cząsteczki o energii znacznie większej od posiadanej przez promienie jonizujące, np. cząsteczki α, zdolne do rozbijania jąder atomów (14, 17).

Użyteczność promieni X, β i γ w utrwalaniu żywności determinuje ich zdolność do penetracji produktów żywności, działanie letalne na drobnoustroje oraz wpływ, jaki wywierają na jej jakość sensoryczną. Promienie β posiadają bardzo ograniczoną przenikliwość i nie są stosowane w utrwalaniu żywności. Promienie X mają wprawdzie znaczną zdolność penetracji, ale nie mogą być kierowane bezpośrednio na produkt. Ich energia ulega więc rozproszeniu i tym samym efektywność letalna jest mała (17). Zastosowanie w praktyce znalazły głównie promienie γ (fotony), posiadające znaczną zdolność penetracji materii i zabijania drobnoustrojów. Ich źródłem są promieniotwórcze izotopy kobaltu (^{60}Co) i cezu (^{137}Cs). W technologii radiacyjnej sterylizacji zwykle używany jest ^{60}Co, radioaktywny izotop, używany w radioterapii nowotworów, którego energia promieniowania w następstwie eksploatacji uległa znacznemu obniżeniu (7, 17).

Wobec obaw konsumentów co do nieszkodliwości dla zdrowia tak konserwowanej żywności, w lipcu 1983 na XV sesji Międzynarodowej Komisji Kodeksu Żywnościowego (Codex Alimentarius Commission), działającej pod auspicjami FAO/WHO, została przyjęta „Norma ogólna dla napromieniowanej żywności" oraz „Międzynarodowe zalecenia dotyczące zasad eksploatacji urządzeń radiacyjnych". Po analizie wyników licznych badań stwierdzono, że maksymalna dawka promieniowania, jaką można stosować bez wywoływania niekorzystnych zmian w żywności, nie może przekraczać 10 kGy (14, 17). Tak utrwalana żywność nie wykazuje zmian jakościowych i uznawana jest za bezpieczną dla zdrowia konsumentów (14, 17). Ustalono także, że przemiany radiacyjne (produkty radiolizy) w napromienianych produktach żywnościowych są bardzo nieznaczne, bo zachodzą zaledwie w 6 cząsteczkach na każde 10 milionów napromienianych. Powstające nowe cząsteczki są identyczne z produktami, które powstają w żywności poddawanej obróbce cieplnej. Jest ich jednak nieporównanie mniej i dlatego żywność napromieniana nie różni się w praktyce od żywności świeżej (8, 14).

Efekt letalny promieni jonizujących wzrasta ze wzrostem zastosowanej dawki. Skuteczność ich ogranicza jednak brak dostępu tlenu do produktów, niska aktywność wody (A_w) w ich środowisku, a także stan zamrożenia. Wrażliwość mikroorganizmów na dawki promieniowania jest funkcją ich rozmiarów i zawartości wody. Wielka energia promieni γ o długości fali 0,1-0,01 nm w bardzo krótkim czasie ekspozycji (ułamki sekundy) jest absorbowana przez atomy i cząsteczki składników żywności oraz obecnych w niej drobnoustrojów, wybijając z nich elektrony. Uwolnione elektrony posiadaną energią mogą z kolei zrywać elektrony z innych atomów, przekształcając je w jony. W efekcie dochodzi do jonizacji tego biologicznego systemu, jakim jest produkt żywnościowy i obecna w nim mikroflora. Promienie jonizujące oddziałują na drobnoustroje zarówno w sposób pośredni, jak i bezpośredni. Bezpośrednio uszkadzają komórkowy DNA, usuwając elektrony z jego cząsteczek, a pośrednio, jonizując cząsteczki wody, produkują wysoce aktywne rodniki H^+ i OH^- inicjujące spontaniczne reakcje utleniania i redukcji. W wyniku tych reakcji dochodzi do zerwania wiązań między atomami węgla w różnych cząsteczkach, w tym także w cząsteczkach DNA. Powodują one uszkodzenia jednej lub obu nici DNA. Rodniki te mogą także zmieniać struktury zasad pirymidynowych, przekształcając np. tyminę w dihydroksy-dihydrotyminę oraz uszkadzać błony cytoplazmatyczne. Powstałe zmiany blokują lub dezorganizują replikację DNA, prowadząc do letalnego lub subletalnego uszkodzenia drobnoustroju (17). Skuteczność letalnego działania promieni γ zależy od wielkości dawki i czasu ekspozycji, a także od gatunku bakterii i właściwości środowiska, które zasiedlają (7, 17). Uważa się, że dawki mniejsze od 1 kGy wystarczają do zabicia pasożytów w mięsie oraz szkodników w zbożach i owocach. Do eliminacji patogennych drobnoustrojów, jak i mikroflory gnilnej konieczne są dawki większe, o energii od 1-10 kGy. Z kolei likwidacja spor i wirusów wymaga zastosowania dawek większych od 10 kGy, często nawet kilkakrotnie (7, 17). Promieniowanie o takiej energii nie może jednak być stosowane do utrwalania żywności, ponieważ powoduje niepożądane zmiany barwy, smaku i zapachu produktów.

Niektóre jej rodzaje, np. produkty mrożone, suszone czy pakowane próżniowo, ze względu na mniejszą zawartość wody, wymagają większych dawek promieniowania dla osiągnięcia pożądanego poziomu redukcji mikroflory. Jeśli jednak w ich procesie produkcyjnym stosowana jest obróbka termiczna albo obniżane jest pH, to skuteczność niszczenia drobnoustrojów wzrasta (17).

W procedurach radiacyjnego utrwalania żywności używane są następujące metody (17):

Radapertyzacja – redukuje liczebność drobnoustrojów do poziomu, w którym nie są one zdolne do spowodowania zepsucia żywności. Nazywana jest radiacyjną pasteryzacją. Jej celem jest niszczenie mikroflory gnilnej w żywności o wysokim pH, w szczególności Gram-ujemnych psychrotrofów oraz drożdży i pleśni w produktach kwaśnych. W tym procesie stosowane są umiarkowane dawki promieniowania. Produkty tak utrwalane muszą być przechowywane w warunkach chłodniczych.

Radycyzacja – niszczy formy wegetatywne drobnoustrojów patogennych. W tym celu stosowane są wyższe dawki promieniowania od 2,5 do 5 kGy. Nie niszczą one jednak spor, a także niektórych opornych na ich działanie szczepów patogennych bakterii, np. *Salmonella Typhimurium*. Z tych powodów i te produkty muszą być przechowywane w warunkach chłodniczych.

Raduryzacja – w tej metodzie stosowane są wysokie dawki promieniowania (30 kGy), zapewniające niszczenie spor *Cl. botulinum*, podobne jak w przypadku sterylizacji termicznej, tzn. ich redukcję na poziomie 12D. Metoda ta jednak nie może być stosowana ze względu na zmiany organoleptyczne produktów eksponowanych na tak duże dawki promieniowania.

Radiacyjne utrwalanie żywności (świeże owoce, warzywa, mięso, drób, ryby) uzyskało aprobatę w ponad 50 krajach, ostatnio także w Polsce. Stosowanie tej metody w produkcji żywności regulują odpowiednie przepisy (Dyrektywy UE nr: 1999/2/EC i 1999/3/EC, w Polsce ustawa o warunkach zdrowotnych żywności i żywienia). Nakazują one m.in. obowiązek odpowiedniego oznakowania tak utrwalanych produktów.

Przedstawione niekonwencjonalne metody konserwacji żywności są technikami najlepiej poznanymi i w mniejszym lub większym zakresie już stosowanymi w praktyce. Poza nimi w stadium badań jest szereg innych metod, takich jak: ogrzewanie indukcyjne, technika impulsów świetlnych, ultradźwięki czy metoda wyładowań elektrycznych. Które z nich znajdą zastosowanie w produkcji żywności, pokaże przyszłość. Przedstawione w tym artykule nowe metody konserwacji, mimo ich zalet, aprobacji prawnej i przychylnej opinii Naukowego Komitetu ds. Żywności (SCF – Scientific Committe of Food), nie są jeszcze na szerszą skalę stosowane w technologii wytwarzania żywności. Powodem są ograniczenia natury technicznej i ekonomicznej dotyczące zastosowania tych metod przy większej skali produkcji oraz istniejące jeszcze wątpliwości konsumentów. Mimo zapewnień, że napromieniana żywność jest w pełni bezpieczna, liczni konsumenci nadal nie są o tym przekonani. Należy sądzić, że z czasem dokonają się zmiany w ich świadomości i ta metoda, podobnie jak pozostałe, znajdą szersze zastosowanie w utrwalaniu żywności. Przekonanie to wzmacnia użyteczność tych technik nie tylko w procesie konserwacji produktów, ale także korzyści wynikające z uzyskania przy ich stosowaniu nowych możliwości modyfikowania cech organoleptycznych żywności (4, 11).

Piśmiennictwo

1. *Anon*.: Use of hydrostatic pressure in food processing: an overview. Food Technol. 1993, 47, 150-164.
2. *Anon*.: Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. J. Food Sci. Supl. 2000, 65, 1-17.
3. *Barbosa-Cánovas G. V., Gongora-Nieto M. M., Pothakamury U. R., Swanson B. G.*: Preservation of foods with pulsed electric fields. Academic Press Ltd., London 1999, 1-9, 76-107, 108-155.
4. *Bendicho S., Barbosa-Canovas G. V., Martin O.*: Milk processing by high intensity pulsed electric fields. Trends Food Sci.Tech. 2003, 13, 195-204.
5. *Black J. G.*: Microbiology, Principles and Explorations. John Wiley and Sons, New York 1999, 320-322.
6. *Castro A. J., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson B. G.*: Microbial inactivation of food by pulsed electric fields. J. Food Process Pres. 1993, 17, 47-73.
7. *Farkas J.*: Irradiation for better foods. Trends Food Sci.Tech. 2006, 17, 148--152.
8. *Heinz V., Alvarez I., Angersbach A., Knorr D.*: Preservation of liquid foods by high intensity pulsed electric fields – basic concepts for process design. Trends Food Sci. Tech. 2001, 12, 103-111.
9. *Hendrix M. E. G., Knorr D.*: Ultra High Pressure Treatment of Foods. Kluver Academic/Plenum Publications, New York 2002, 8-34.
10. Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies. Pulsed electric fields., US FDA, Center for Food Safety and Applied Nutrition June 2 2000.
11. *Knorr D., Zenker M.*: Applications and potential of ultrasonics in food processing. Trends Food Sci. Tech. 2004, 15, 261-266.
12. *Matser A. M., Krebbers B., van den Berg R. W., Bartels P. V.*: Advantages of high pressure sterilization on quality of food products. Trends Food Sci. Tech. 2004, 15, 79-85.
13. *Meyer R. S., Cooper K. L., Knorr D., Le Lieveld H. L. M.*: High pressure stabilization of foods. Food Technol. 2000, 54, 67-82.
14. *Olsen D. G.*: Irradiation of food. Food Technol. 1988, 52, 56-61.
15. *Phua S. T. G., Davey K.*: Ultra high pressure treatment of foods. Trends Food Sci. Tech. 2005, 16, 360-361.
16. *Qin B. L., Barbosa-Cánovas G. V., Swanson B. G., Pedrow P. D.*: Inactivating microorganism using a pulsed electric field continuous treatment system. IEEE Trans Indus Applic. 1998, 34, 43-49.
17. *Ray B.*: Fundamental Food Microbiology, CRC Press, Boca Raton, London 2004, 507-514.
18. *Schoenbach K. H., Peterkin F. E., Alden R. W., Beebe S. J.*: The effect of pulsed electric fields on biological cells: Experiments and Applications. IEEE Trans Plasma Sci. 1997, 25, 284-292.
19. *Vega-Mercado H., Martin-Belloso O., Quin B. L., Cahng F. J., Gongora--Nieto M. M., Barbosa-Canovas G. V., Swanson B. G.*: Non-thermal food preservation: Pulsed electric fields. Trends Food Sci. Tech. 1997, 8, 151--157.
20. *Wouters P. C., Alvarez I., Raso J.*: Critical factors determining inactivation kinetics by pulsed electric field food processing. Trends Food Sci. Tech. 2001, 12, 112-121.
21. *Zimmermann U.*: Electrical breakdown, electropermeabilization and electrofusion. Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 1986, 105, 175-256.

Adres autora: prof. dr hab. Jerzy Molenda, ul. Norwida 31, 50-375 Wrocław; e-mail: molenda@ozi.ar.wroc.pl