

HENRYK ŻEGOTA

NAPROMIENIOWANIE ŻYWNOŚCI W ASPEKCIE TECHNOLOGICZNYM, PRAWNYM I WDROŻENIOWYM

Streszczenie

W pracy przedstawiono aktualny stan wiedzy na temat zastosowania promieniowania jonizującego do utrwalania żywności, zalet i ograniczeń tej metody, produktów spożywczych, które mogą być poddane działaniu promieniowania, rekomendowanych dawek, urządzeń do napromieniowania, legalizacji metody w Polsce, Unii Europejskiej i innych krajach. W aspekcie historycznym podkreślono rolę organizacji międzynarodowych WHO/IAEA/FAO w promowaniu badań, rozwoju technologii, edukacji konsumentów i pracach legislacyjnych koniecznych do przemysłowych wdrożeń tej metody.

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, utrwalanie żywności, zagadnienia prawne napromieniowania żywności

Wprowadzenie

Napromieniowanie żywności jest najnowszą oryginalną metodą konserwacji, opracowaną w drugiej połowie ubiegłego wieku. Jest to metoda fizyczna polegająca na bakteriobójczym działaniu promieniowania jonizującego, odkrytego w 1896 r. w czasie badań nad biologicznymi skutkami działania promieniowania X [19]. Już po kilku latach od tego odkrycia, a dokładnie w 1905 r. w Wielkiej Brytanii przyznano pierwszy patent na użycie promieni jonizujących radu do poprawy jakości produktów spożywczych [6]. W tym czasie rad był bardzo droгим i trudno dostępnym izotopem promieniotwórczym, co uniemożliwiało wykorzystanie tego patentu. Podobne ograniczenia związane były z następnymi patentami udzielonymi w 1921 r. w USA w celu niszczenia *Trichinella spiralis* w wieprzowinie [22] oraz w 1930 r. we Francji do konserwacji żywności w metalowych puszkach [29]. W latach 40. i 50. XX w. nastąpił istotny rozwój konstrukcji źródeł promieniowania, zarówno izotopowych, jak i akceleratorów elektronów, co pozwoliło na rozpoczęcie bardziej systematycznych prac nad utrwalaniem produktów

Dr inż. H. Żegota, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Politechnika Łódzka, ul. Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź, e-mail: ahzegota@mitr.p.lodz.pl

spożywczych. Już w 1943 r. wykonano pierwsze badania nad utrwalaniem hamburgerów za pomocą promieniowania X, wytwarzanego w elektrostatycznym akceleratorze van de Graffa [21]. W USA, w latach 50. prowadzone były prace badawcze w zakresie napromieniowania żywności głównie w Massachusetts Institute of Technology, a sponsorowała je armia amerykańska w ramach programu pokojowego wykorzystania energii atomowej. W latach 1953-1963 na program ten wydano około 30 mln dolarów. Więcej szczegółów na temat historycznych początków badań nad utrwalaniem żywności za pomocą promieniowania jonizującego, prowadzonych zarówno w USA, jak i w różnych krajach Europy opisał Goldblith [13].

Początek międzynarodowej współpracy i koordynacji badań miał miejsce w roku 1960, kiedy to Europejska Agencja Energii Atomowej (ENEA) i Organizacja ds. Współpracy Ekonomicznej i Rozwoju (OECD) powołały grupę badawczą zajmującą się tematyką napromieniowania żywności. W pracach tej grupy, oprócz przedstawicieli 16 krajów należących do OECD, brali także udział reprezentanci Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) i Organizacji ds. Żywności i Rolnictwa (FAO) działających w ramach ONZ. W tym czasie rozpoczęto publikację kwartalnika „Food Irradiation”, który przez wiele lat przybliżał czytelnikom tematykę napromieniowania żywności. Kontynuacją międzynarodowej współpracy w latach 1970 – 1981 był finansowany i koordynowany przez IAEA, FAO i WHO program badawczy pt. „International Project in the Field of Food Irradiation” kierowany przez Prof. J.F. Diehla z Bundesforschungsanstalt für Ernährung w Karlsruhe i poświęcony przede wszystkim badaniom jakości zdrowotnej i żywieniowej oraz bezpieczeństwu mikrobiologicznemu napromieniowanej żywności. Grupa ekspertów, pracująca w ramach tego projektu w końcowym raporcie [5] przyjęła ważne dla akceptacji metody rekomendacje, a mianowicie:

- „...napromieniowanie jakiegokolwiek produktu spożywczego średnią dawką promieniowania jonizującego do 10 kGy nie stwarza zagrożenia toksykologicznego, w związku z czym nie są wymagane badania toksykologiczne żywności w ten sposób konserwowanej” oraz
- „...napromieniowanie żywności średnią dawką promieniowania jonizującego do 10 kGy nie stwarza problemów żywieniowych i mikrobiologicznych”.

Rekomendacje i konkluzje wynikające z badań wykonanych w ramach wyżej wymienionego programu przekazane zostały do Międzynarodowej Komisji Kodeksu Żywnościowego (Codex Alimentarius Commission, CAC) działającej przy FAO oraz WHO i opracowującej międzynarodowe normy żywnościowe. W lipcu 1983 roku na XV sesji Komisji została przyjęta „Norma ogólna dla napromieniowanej żywności” (Codex General Standard for Irradiated Foods) oraz „Międzynarodowe Zalecenia Odnośnie Zasad Eksploatacji Urządzeń Radiacyjnych” (Code of Practice for Operation of Radiation Facilities Used for Treatment of Food) [7]. Dokumenty te określają

zasady napromieniowania żywności średnią dawką do 10 kGy oraz wymagane procedury kontroli procesu. Zalecenia Kodeksu stanowiły istotną podstawę prawną do legalizacji metody radiacyjnej konserwacji żywności w wielu krajach [8].

W celu koordynacji prac nad dalszym rozwojem i wdrożeniami technologii radiacyjnej utrwalania żywności w 1983 r. z inicjatywy FAO, IAEA i WHO powołana została Międzynarodowa Grupa Konsultacyjna do Spraw Napromieniowania Żywności (International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI), w pracach której uczestniczyli reprezentanci 44 krajów. Do zadań ICGFI należało wspieranie badań i rozwoju technologii napromieniowania żywności, fachowe doradztwo przy wdrożeniach tej metody w krajach członkowskich oraz wspieranie międzynarodowej współpracy w tej dziedzinie. Kadencja ICGFI pierwotnie miała obejmować lata 1984–1989, ale była kilka razy przedłużana i ostatecznie zakończyła ona swe prace w 2004 roku, przekazując kompetencje i zadania do Sekcji FAO/WHO do spraw technik nuklearnych w żywności i rolnictwie [4]. ICGFI opracowała i przyjęła wiele ważnych dokumentów regulujących różne aspekty związane z wdrażaniem technologii napromieniowania żywności, legalizacji metody, międzynarodowego handlu oraz GMP, a raczej Good Irradiation Practice. Dokumenty te publikowane są na stronach internetowych IAEA [30].

W 1999 r. grupa ekspertów z FAO, IAEA i WHO przyjęła rekomendację, że nie ma potrzeby ustalania górnego poziomu ograniczającego dawkę pochłoniętą do 10 kGy, jaką do tej pory można było stosować do napromieniowania żywności. W tej rekomendacji mówi się, że żywność napromieniowana dawką potrzebną do osiągnięcia określonego celu technologicznego jest bezpieczna do spożycia i adekwatna żywieniowo, a ograniczeniem dawki mogą być tylko własności smakowe napromieniowanego produktu [28]. W konsekwencji w 2003 r. Międzynarodowa Komisja Kodeksu Żywnościowego uaktualniła Codex General Standard for Irradiated Foods stwierdzając, że maksymalna pochłonięta dawka przy napromieniowaniu żywności nie powinna przekraczać 10 kGy, z wyjątkiem, gdy występuje konieczność osiągnięcia określonego technologicznie celu [8]. Tak więc można powiedzieć, że w technologii napromieniowania żywności cel zabiegu określa dawkę.

Istota i cele napromieniowania żywności, atuty i ograniczenia metody

Żywność poddawana napromieniowaniu w urządzeniach radiacyjnych pochłania określoną dawkę energii w postaci promieniowania jonizującego, które penetruje całość materiału, powodując pożądane efekty w postaci redukcji poziomu mikroflory, destrukcji patogenów, hamowania procesów fizjologicznych i działania enzymów, a także niepożądanych reakcji chemicznych prowadzących do tworzenia określonych produktów radiolizy. Promieniowanie inaktywuje mikroorganizmy oraz zabija pasożyty obecne w żywności poprzez uszkodzenie najbardziej wrażliwych części

każdej komórki, to jest jądra i zawartego w nim DNA oraz błony komórkowej. Inaktywacja mikroflory może być bezpośrednim skutkiem absorpcji energii (teoria tarczy) lub pośredniego działania wolnych rodników powstających z jonizacji innych cząsteczek w najbliższym otoczeniu, np. cząsteczek wody. Reakcje rodnikowe z udziałem składników żywności (białka, cukry, witaminy) prowadzą do utworzenia chemicznych produktów radiolizy wykrywanych w niewielkich ilościach w napromieniowanych produktach. W przeważającej części są to takie same produkty, jakie powstają w czasie termicznej obróbki żywności [25]. Ilość powstających produktów radiolizy zależy od dawki promieniowania.

Jako najważniejsze cele napromieniowania żywności można wyróżnić:

- zmniejszenie strat produktów spożywczych na skutek działania mikroorganizmów, grzybów, szkodników, a także procesów fizjologicznych i działania enzymów (np. przedłużenie okresu świeżości, opóźnienie dojrzewania owoców i warzyw);
- poprawa jakości mikrobiologicznej i redukcja mikroflory patogennej (*Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella* i inne);
- uzyskanie sterylnych produktów spożywczych, które mogą być przechowywane przez długi czas w temperaturze pokojowej (np. dla pacjentów o zmniejszonej odporności immunologicznej, kosmonautów);
- skrócenie okresu kwarantanny importowanych owoców tropikalnych (np. mango, papaja) i zapobieganie rozprzestrzenianiu się groźnych owadów.

Do atutów radiacyjnej metody konserwacji żywności można zaliczyć między innymi to, że promieniowanie działa skutecznie w całej masie produktu, proces prowadzony jest w temperaturze pokojowej i w opakowaniu zabezpieczającym przed wtórną infekcją, a także atutem jest możliwość łączenia napromieniowania z innymi metodami konserwacji np. zamrażaniem, czy stosowaniem kontrolowanej atmosfery. Jest to metoda przyjazna dla środowiska w odróżnieniu od metod chemicznych z zastosowaniem fumigantów.

Istotnym czynnikiem ograniczającym stosowanie promieniowania do utrwalania żywności mogą być zmiany sensoryczne produktu, występujące przy dawkach niższych niż zalecane technologicznie, jak to ma miejsce w przypadku mleka i produktów mleczarskich, czy produktów z jaj. Ważnym czynnikiem ograniczającym jest też stosunkowo wysoki koszt procesu, związany głównie z dużymi kosztami inwestycyjnymi. Ze względów technologicznych i efektów chemicznych bardziej korzystne jest napromieniowanie produktów wysuszonych niż zawierających duże ilości wody.

Należy podkreślić, że radiacyjna metoda utrwalania żywności nie jest metodą uniwersalną i nie zastąpi nigdy innych uznanych i sprawdzonych metod konserwacji żywności.

Źródła promieniowania jonizującego i dawki stosowane do utrwalania żywności

Przyjęte przez Międzynarodową Komisję Kodeksu Żywnościowego normy: „Norma ogólna dla napromieniowanej żywności” oraz „Międzynarodowe Zalecenia Odnośnie Zasad Eksploatacji Urządzeń Radiacyjnych” [7] definiują, jakie źródła promieniowania mogą być stosowane do utrwalania żywności. Mogą to być zarówno źródła izotopowe emitujące promienie gamma z izotopów promieniotwórczych ^{60}Co (średnia energia fotonów 1,25 MeV) lub ^{137}Cs (średnia energia fotonów 0,52 MeV), jak i urządzenia elektryczne wytwarzające promieniowanie X o energii do 5 MeV lub akceleratory elektronów o energii do 10 MeV. Ograniczenie górnego poziomu emitowanej energii w urządzeniach elektrycznych ma na celu całkowite wyeliminowanie ryzyka indukowania radioaktywności wzbudzonej w napromieniowanych produktach. Wszystkie akceptowane rodzaje źródeł promieniowania powodują podobne efekty wyjaławiające przy porównywalnych dawkach promieniowania. Najczęściej stosowane są jednak urządzenia izotopowe (^{60}Co) i akceleratory elektronów. Praktycznie nie stosuje się promieniowania X, gdyż konwersja elektronów do promieniowania X przebiega z niską wydajnością co podnosi koszty. Zaletą akceleratorów jest to, że po zakończeniu pracy mogą być wyłączone, a istotnym ograniczeniem jest niski zakres penetracji produktu przez przyspieszone elektrony (około 0,5 cm na 1 MeV energii elektronów).

Napromieniowane w urządzeniach radiacyjnych produkty spożywcze pochłaniają pewną dawkę energii, podobnie jak to ma miejsce w przypadku obróbki cieplnej, czy stosowania mikrofal. Jednostką dawki energii pochłoniętej przez napromieniowany produkt jest grej, w skrócie Gy. Jeden Gy odpowiada energii 1 J pochłoniętej przez 1 kg produktu (1 Gy = 1 J/kg). Poprzednio dawki wyrażano w radach (1 Gy = 100 radów). W praktyce dawki stosowane do napromieniowania żywności podaje się najczęściej w kilogrejach (1 kGy = 1000 Gy).

W technologii napromieniowania żywności wyróżnia się trzy poziomy dawek [27]:

- dawki niskie, poniżej 1 kGy, mogą być stosowane między innymi do hamowania procesu kiełkowania ziemniaków, cebuli, czosnku, niszczenia insektów zbożowych, eliminacji trichinozy w wieprzowinie, przedłużenia okresu dojrzewania owoców tropikalnych i skrócenia okresu ich kwarantanny;
- dawki średnie, zakres od 1 do 10 kGy, wykorzystywane są do niszczenia chorobotwórczych mikroorganizmów takich jak *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia*, *Escherichia coli* 0157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella* i inne w mięsie, drobiu i rybach oraz ograniczenia rozwoju pleśni w truskawkach i innych owocach;

- dawki wysokie, powyżej 10 kGy, wykorzystywane są do higienizacji przypraw ziołowych i warzywnych oraz wyjaławiania żywności dla określonych celów.

Żywność łatwo ulegająca zepsuciu nawet po napromieniowaniu niskimi, czy średnimi dawkami, musi być przechowywana w niskich temperaturach, ponieważ nie cała mikroflora uległa eliminacji, a poza tym promieniowanie w mniejszym stopniu ogranicza aktywność enzymów i mogą zachodzić enzymatyczne reakcje prowadzące do zmiany barwy, zapachu czy tekstury.

Obecnie na świecie jest około 170 przemysłowych urządzeń do napromieniowania, z czego około 40 w USA, większość z nich jest wykorzystywana do sterylizacji sprzętu medycznego. Około 60 urządzeń radiacyjnych ma akredytację do napromieniowania żywności, w USA około 20, we Francji 8, w Republice Południowej Afryki 5, w innych krajach jest najczęściej jedno lub najwyżej dwa takie urządzenia [15]. Urządzenia radiacyjne do napromieniowania żywności wyposażone są w system transporterów, które przenoszą opakowania z produktami z hali załadowniczej do komory, w której są one poddawane napromieniowaniu, najczęściej z możliwością obracania w pobliżu źródeł w celu uzyskania bardziej jednorodnego rozkładu dawki w całym opakowaniu. Szybkość przesuwu transportera i czas przebywania produktu w komorze radiacyjnej kontrolowane są przez program komputerowy. Napromieniowane produkty transportowane są następnie do hali, w której przechowywane są produkty napromieniowane. Do opakowania często przykleja się polimerowe wskaźniki napromieniowania, które w czasie zabiegu zmieniają kolor informując o tym, że dany produkt w danym opakowaniu był już napromieniowany.

W Polsce napromieniowanie przypraw ziołowych wykonywane jest w Stacji Pilotowej we Włochach należącej do Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie wyposażonej w akcelerator liniowy LAE 13/9 o mocy 10 kW i energii elektronów 10 MeV oraz w komorze radiacyjnej Międzyresortowego Instytutu Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej wyposażonej w izotopowe źródła kobaltowe.

Legalizacja napromieniowania żywności

Napromieniowanie produktów spożywczych i wprowadzanie ich do obrotu wymaga uzyskania zezwoleń wydawanych przez uprawnione jednostki administracyjne w danym kraju zarówno w odniesieniu do poszczególnych produktów, jak i poszczególnych operatorów urządzeń radiacyjnych. W ostatnim czterdziestoleciu pozwolenia na napromieniowanie żywności wydano w około 50 krajach na różnych kontynentach i objęły one kilkadziesiąt różnych produktów spożywczych. Dokładne informacje na ten temat publikowane są na stronach internetowych IAEA [14]. W Polsce Główny Inspektor Sanitarny wydał zezwolenia na utrwalanie promieniowaniem jonizującym sześciu artykułów rolno-spożywczych (tab. 1).

Tabela 1

Artykuły rolno-spożywcze dopuszczone w Polsce do zabiegu utrwalania promieniowaniem jonizującym [12].

Agricultural and food products allowed, in Poland, of being preserved by ionizing radiation [12].

Rodzaj produktu Kind of food	Cel napromieniowania Purpose of irradiating the food	Dopuszczalna dawka [kGy] Permissible dosis	Rodzaj zezwolenia Type of permit issued	Data zezwolenia Date of permit issued
Cebula Onion	hamowanie kiełkowania to inhibit sprouting	do 0,050	bezw warunkowe unconditional	1987
Ziemniaki Potatoes	hamowanie kiełkowania to inhibit sprouting	0,025-0,10	warunkowe conditional	1990
Czosnek Garlic	hamowanie kiełkowania to inhibit sprouting	0,03-0,15	bezw warunkowe unconditional	1990
Pieczarki Meadow mushrooms	hamowanie wzrostu i starzenia to inhibit growth and ageing	1,0-2,5	warunkowe conditional	1990
Przyprawy Spices & Herbs	obniżenie zanieczyszczeń biologicznych to reduce levels of biological impurities	5,0-10,0	bezw warunkowe unconditional	1990
Susz warzywny Dried vegetables	obniżenie zanieczyszczeń biologicznych / to reduce levels of biological impurities	5,0-10,0	bezw warunkowe unconditional	1994

W Unii Europejskiej problemy związane z napromieniowaniem żywności regulują dwie dyrektywy z 1999 r., a mianowicie dyrektywa ramowa (Framework Directive 1999/2/EC) i dyrektywa wprowadzająca (Implementing Directive 1999/3/EC) obowiązujące od 20 marca 2001 r. [1]. Dyrektywa ramowa reguluje ogólne i technologiczne aspekty napromieniowania żywności, sposób oznakowania i warunki autoryzacji urzędów do napromieniowania. Dyrektywa wprowadzająca natomiast określa listę produktów dopuszczonych do napromieniowania w krajach Unii. Jak dotychczas na tej liście znalazły się tylko wysuszone zioła, przyprawy ziołowe i warzywno. Podjęte w ostatnich latach konsultacje z organizacjami konsumenckimi i zrzeszeniami producentów żywności odnośnie rozszerzenia listy produktów spożywczych dopuszczonych do napromieniowania wskazały na duży opór tych środowisk na wprowadzanie technologii radiacyjnej. Stąd mimo pozytywnej opinii Komitetu Naukowego ds. Żywności przy Radzie Unii w grudniu 2003 r. Parlament Europejski odrzucił propozycje dopuszczenia do napromieniowania takich produktów,

jak: mrożone przyprawy zielarskie, suszone owoce, płatki i kielki zbożowe, białko jaj, guma arabska, udka żabie i produkty uboczne przerobu drobiu. W niektórych państwach europejskich (Belgia, Holandia, Francja, Włochy, Wielka Brytania) napromieniowanie tych produktów jest dopuszczone, lecz obrót nimi jest ograniczony do terytorium danego kraju.

Dyrektywa ramowa Unii Europejskiej z 1999 roku określa:

- żywność może być dopuszczona do napromieniowania, jeśli występuje uzasadniona potrzeba technologiczna, a napromieniowany produkt nie stwarza zagrożenia dla zdrowia konsumenta, a wręcz przynosi mu korzyść. Napromieniowanie nie może zastępować dobrej praktyki w produkcji i rolnictwie;
- napromieniowany produkt lub produkt zawierający napromieniowane składniki musi być oznakowany poprzez zamieszczenie słów: napromienione (*irradiated*) lub poddane działaniu promieniowania jonizującego (*treated with ionising radiation*);
- nowy produkt może znaleźć się na liście dopuszczającej do napromieniowania po uzyskaniu pozytywnej opinii Komitetu Naukowego do spraw Żywności przy Radzie Unii;
- kraje członkowskie mogą stosować regulacje własne do czasu sformułowania ostatecznej listy produktów dopuszczonych do napromieniowania;
- kraje członkowskie są zobowiązane do walidacji i standaryzacji metod analitycznych pozwalających na detekcję, czy dany produkt był napromieniowany;
- napromieniowanie żywności, również importowanej, musi być prowadzone w autoryzowanych urządzeniach do napromieniowania.

Regulacje te nie odnoszą się do żywności napromieniowanej dawkami wyjąłajającymi dla pacjentów szpitali wymagających sterylnej diety.

W Polsce aktualnie obowiązuje Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 15 stycznia 2003 roku (Dz.U. Nr 37 poz. 326 i 327) w sprawie warunków napromieniowania środków spożywczych, dozwolonych substancji dodatkowych lub innych składników żywności, które mogą być poddane działaniu promieniowania jonizującego, ich wykazów, maksymalnych dawek napromieniania oraz wymogów w zakresie znakowania i wprowadzania do obrotu.

Jest ono zgodne z regulacjami wyżej omówionych dyrektyw Unii Europejskiej.

Zgodnie z tym rozporządzeniem napromieniowanie produktów spożywczych jest dopuszczone wyłącznie w celu:

- eliminacji lub redukcji drobnoustrojów chorobotwórczych do poziomu zapewniającego bezpieczeństwo konsumpcji;
- zapobieganiu psuciu się żywności poprzez eliminację bakterii, pleśni, grzybów i pasożytów powodujących jej rozkład;

- przedłużenia okresu składowania świeżych owoców i warzyw poprzez hamowanie naturalnych procesów biologicznych związanych z dojrzewaniem, kiełkowaniem czy starzeniem się tych środków spożywczych.

W rozporządzeniu Ministra Zdrowia określono, że średnia dawka pochłonięta przez środki spożywcze nie może przekraczać 10 kGy.

Regulacje prawne dopuszczające znacznie szerszą gamę produktów spożywczych do napromieniowania obowiązują w Stanach Zjednoczonych. W latach 1963 i 1964 Food and Drug Administration (FDA) wydała zezwolenia na napromieniowanie pszenicy i mąki pszennej (dawki 0,20-0,50 kGy) w celu niszczenia insektów oraz na napromieniowanie ziemniaków (dawki 0,10-0,15 kGy) w celu hamowania procesu kiełkowania [2]. Dalsze pozwolenia udzielane były w kolejności: 1983 – napromieniowanie przypraw (dawka 10 kGy, od roku 1986 dopuszczono stosowanie dawki do 30 kGy) w celu niszczenia insektów i bakterii; 1985 – napromieniowanie małymi dawkami (0,30-1,0 kGy) wieprzowiny w celu ograniczenia *Trichinella spiralis*; 1986 – napromieniowanie owoców i warzyw (dawka 1,0 kGy) w celu hamowania dojrzewania i niszczenia insektów i mikroflory; 1990 – napromieniowanie dawką 3,0 kGy świeżego i mrożonego drobiu (w celu ograniczenia wzrostu bakterii *Salmonella* i innych bakterii patogennych; 1997 – pozwolenie FDA na napromieniowanie wołowiny, cielęciny i innego czerwonego mięsa (mięso chłodzone – dawka 4,5 kGy, mięso mrożone – dawka 7,0 kGy) w celu eliminacji patogenów; 2000 – końcowe pozwolenie Departamentu Rolnictwa (USDA) na napromieniowanie chłodzonego i zamrożonego surowego mięsa i półproduktów mięsnych w celu inaktywacji patogenów i kontroli rozprzestrzeniania się zatruc pokarmowych.

Stany Zjednoczone przodują też w praktycznym wykorzystaniu napromieniowania żywności. NASA już w 1972 r. wprowadziła do menu kosmonautów radiacyjnie wyjałowioną szynkę, a od 1975 r. także inne produkty z drobiu i wołowiny [3]. Napromieniowana żywność była spożywana przez kosmonautów amerykańskich i rosyjskich w czasie wykonywania wspólnych lotów w programie Apollo-Sojuz i w czasie lotów promów kosmicznych. Gotowe posiłki w odpowiednim opakowaniu są zamrażane do -40°C i napromieniowywane dawką 44 kGy, a następnie są przechowywane w temperaturze pokojowej. Szacuje się, że w 2000 r. w USA napromieniowano około 95 mln funtów przypraw, 1,5 mln funtów świeżych owoców i warzyw i około 0,5 mln funtów świeżego i mrożonego drobiu [2]. W niektórych stanach USA rozpoczęto prace pilotażowe związane z wprowadzaniem napromieniowanego mięsa do stołówek szkół publicznych z równoczesną edukacją rodziców w celu osiągnięcia akceptacji tych działań [11].

Oprócz USA do krajów wiodących we wdrażaniu technologii radiacyjnej zaliczyć można Republikę Południowej Afryki, Izrael, Kanadę, Meksyk i Brazylię. Na listach produktów dopuszczonych do napromieniowania w różnych krajach w różnym

okresie czasu jest około 40 produktów spożywczych, głównie przypraw, różnych owoców i warzyw, mięsa, drobiu, produktów pochodnych krwi, produktów kazeinowych, owoców morza i wielu innych [14].

Aspekty zdrowotne i żywieniowe

WHO w 1992 r., na podstawie wieloletnich badań żywieniowych i analizy danych z przeszło 500 publikacji naukowych przeprowadzonych przez Komitet Ekspertów FAO/WHO/IAEA [17], stwierdziła, że „żywność napromieniowana zgodnie z dobrą praktyką wytwarzania jest bezpieczna do spożycia i wartościowa żywieniowo ponieważ:

- napromieniowanie nie wprowadza zmian składników żywności, które z toksykologicznego punktu widzenia mogłyby wpływać niekorzystnie na zdrowie człowieka;
- napromieniowanie nie wywołuje zmian mikroflory żywności, które zwiększałyby zagrożenie mikrobiologiczne dla konsumenta;
- napromieniowanie nie powoduje strat składników odżywczych żywności, które z punktu widzenia żywienia mogłyby niekorzystnie wpłynąć na jednostkę i całą populację”.

Zmiany chemiczne podstawowych składników żywności, takich jak: białka, węglowodany i tłuszcze są niewielkie przy dawkach przyjętych do napromieniowania żywności i z reguły znacznie mniejsze, jeśli proces jest prowadzony w obniżonej temperaturze i w nieobecności tlenu. Mogą natomiast wystąpić straty niektórych witamin, takich jak: tiamina, kwas askorbinowy czy witaminy A i E, które są najbardziej wrażliwe na działanie promieniowania, ale pewne straty tych witamin występują także przy obróbce termicznej żywności. Bardziej szczegółowo problemy zdrowotne i żywieniowe związane z napromieniowaną żywnością omówione są w pracach przeglądowych poświęconych temu zagadnieniu [9-10, 16-17, 23-24].

Względy zdrowotne i zapobieganie zatruciom pokarmowym wywołanym spożyciem zainfekowanej żywności, szczególnie takiej, która nie jest poddawana pełnej obróbce termicznej, spowodowały wyraźny wzrost zainteresowania napromieniowaniem produktów mięsnych i ich obrotem w USA [2]. Napromieniowanie dawkami 2,5–3,0 kGy mięsa wołowego lub drobiu zapobiega zatruciom powodowanym przez *E. coli* 0157:H7 czy *Salmonella*. Stąd w wielu sieciach marketów dostępne jest napromieniowane mięso, sprzedawane w oznakowanych zieloną koniczynką (symbol napromieniowanej żywności, tzw. radura) jednostkowych opakowaniach [20]. Napromieniowane takimi dawkami mięso wymaga oczywiście przechowywania w warunkach obniżonej temperatury, ponieważ nie cała mikroflora została wyeliminowana.

Podsumowanie

Napromieniowanie żywności po wielu latach badań mikrobiologicznych, chemicznych, toksykologicznych, genetycznych i żywieniowych oraz wdrożeniach na skalę pilotową i przemysłową zyskało międzynarodową akceptację jako metoda utrwalania produktów spożywczych. Mimo protestów przeciwników tej technologii wyrażanej przez organizacje konsumenckie, a wynikające najczęściej z niezajomości metody, o praktycznych zastosowaniach decydują głównie względy technologiczne i ekonomiczne. Napromieniowanie nie zastąpi uznanych i sprawdzonych technologii, jak pasteryzacja mleka czy produktów z jaj albo zamrażania produktów nietrwałych, ale dobrym przykładem przewagi tej metody może być higienizacja przypraw ziołowych i warzywnych, która zastąpiła rakotwórczy tlenek etylenu stosowany poprzednio do fumigacji.

Ograniczenie zezwoleń w Unii Europejskiej do zastosowań promieniowania jonizującego tylko do suszonych przypraw ziołowych i warzywnych jest krokiem wstecz w stosunku do narodowych regulacji prawnych i praktycznych aplikacji tej technologii w wiodących krajach europejskich w ostatnim dwudziestoleciu. Niekwestionowanym liderem we wdrażaniu metody, szczególnie do niszczenia patogenów w mięsie, są obecnie Stany Zjednoczone, gdzie przykładą się dużą uwagę do ochrony zdrowia i zapobiegania chorobom związanym z zatruciami pokarmowymi.

Napromieniowanie żywności musi być zaakceptowane przez konsumentów, co wiąże się z ich edukacją w tej dziedzinie oraz przez producentów, którzy wyrażają obawy, że stosowanie napromieniowania żywności popsuje wizerunek firmy. Jasne jest, że napromieniowane produkty muszą być odpowiednio oznakowane, co powinno oznaczać, że taki produkt jest bardziej bezpieczny dla zdrowia. Wiele testów rynkowych wykazało akceptację napromieniowanych produktów (cebula, truskawki, ziemniaki, mięso wołowe, drób) przez konsumentów. Również harmonizacja obowiązujących w różnych krajach przepisów umożliwiłaby międzynarodowy obrót napromieniowanymi produktami. Takie działania wspierać może opracowanie i walidacja metod analitycznych pozwalających na wykrywanie czy dany produkt był napromieniowany.

Pewnym ograniczeniem mogą być koszty procesu, jeśli stanowią znaczny udział w stosunku do cen produktu. Stąd napromieniowanie takich masowych produktów, jak ziemniaki, czy cebula nie wszędzie może być opłacalne. Największy udział w kosztach mają nakłady inwestycyjne związane z budową dużych urządzeń przemysłowych.

Metoda utrwalania żywności charakteryzuje się dużą skutecznością w eliminacji różnych mikroorganizmów w tym patogennych. Nie dotyczy to jednak wirusów, które charakteryzują się dużą odpornością na promieniowanie, stąd nie ma szans do

wykorzystania tej metody do zwalczania ptasiej grypy niebezpiecznie rozprzestrzeniającej się w ostatnim okresie.

Literatura

- [1] Anonim: Communication from the Commission on Food Ingredients authorized for treatment with ionizing radiation in the Community. Off. J. Europ. Commun., 2001, **C 241**, 6-10.
- [2] Anonim: Food Irradiation. Available Research Indicates That Benefits Outweigh Risks. Report of United States General Accounting Office. GAO/RCED-00-217, 2000, s. 27.
- [3] Anonim: NASA and Food Irradiation – NASA FTCSC News, 2002, Space Food Insights 10-02, www.ag.iastate.edu/centers/ftcsc/media/1002b.html
- [4] Anonim: Report and Recommendations Arising from the Working Group Meeting on the International Consultative Group on Food Irradiation (ICGFI), 12-14 January 2004, Vienna, Austria.
- [5] Anonim: Wholesomeness of Irradiated Food. Summary of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. In: Food Irradiation Information, 1981, **11**, 8-20.
- [6] Appleby J., Banks A.J.: Brit. patent No. 1609, 1905.
- [7] CAC: Codex General Standard for Irradiated Food. CODEX STAN 106-1983. Codex Alimentarius Commission. Rome 1983.
- [8] CAC: 2003. Revised Codex General Standard for Irradiated Food. CODEX STAN 106-1983. Rev.1-2003, Codex Alimentarius Commission, Rzym. (<ftp://ftp.fao.org/codex/standard/en/CXS.106e.1.pdf>)
- [9] Diehl J.F., Josephson E.S.: Assessment of wholesomeness of irradiated food. (A review). Acta Aliment. 1994, **23(2)**, 195-214.
- [10] Elias P.S.: Food Irradiation. In: Nutritional Toxicology. Kotsonis, F.N., Mackey M., Hjelle J. (red.) Raven Press Ltd., New York 1994, pp. 149-180.
- [11] Fabi R.: USDA to allow irradiated meat in U.S. School lunches. 2002, C:\icgfi-feb03\USDA
- [12] GIS-EŽ-4431-Sd-2/90, GIS-EŽ-4431-Sd-3/90.
- [13] Goldblith S.A.: Historical development of food irradiation. In: Food Irradiation. Proc. Int. Symp. on Food Irradiation, Karlsruhe 1966, pp. 3-17.
- [14] ICGFI Databases, Clearance Database, www.iaea.org/icgfi/data.htm.
- [15] ICGFI Databases, NAFA Authorized Food Irradiation Facilities, www.iaea.org/icgfi/data.htm.
- [16] Josephson E.S., Thomas M.H., Calhoun W.K.: Nutritional aspects of food irradiation: An overview. J. Food Proc. Preserv. 1978, **2**, 299-313.
- [17] Lee R.P.: Irradiation to prevent food-borne illness. J. Am. Med. Assoc., 1994, **272 (4)**, 261.
- [18] Loaharanu P.: Status and prospects of food irradiation. Food Technol., 1994, 124-131.
- [19] Minck F.: Zur Frage über die Einwirkung der Röntgenschen Strahlen auf Bakterien und ihre eventuelle therapeutische Verwendbarkeit. Münch. Med. Wochenschr., 1896, **5**, 101, **9**, 202.
- [20] Minnesota Beef Council Food Irradiation Update, 2002. Updated list of restaurants and retailers marketing irradiated ground beef. C:\icgfi-sep-nov02\nov02\UPDATED LIST
- [21] Proctor B.E., van de Graff R.J., Fram H.: Reports on Quartermaster Contract Projects by the Food Technology Laboratories, MIT, 1943, p. 217.
- [22] Schwartz B.: Effects of X-rays on trichinae. J. Agric. Res., 1921, **20**, 845.
- [23] Skala J.H., Mc Gown, E.L., Waring P.P.: Wholesomeness of irradiated foods. J. Food Protect. 1987, **50 (2)**, 150-160.
- [24] Smith J.S., Pillai S.: Irradiation and food safety. Food Technol., 2004, **58 (11)**, 48-55.
- [25] Stachowicz W.: Napromieniowanie – skuteczny sposób konserwacji żywności. Postępy Techniki Jądrowej, 1994, **37 (3)**, 34-36.

- [26] Steele J.H.: Food Irradiation: A Public Health Measure Long Overdue! 1999.
www.food-irradiation.com/Steele.htm
- [27] WHO, 1988. Napromienianie żywności. Technika utrwalania i poprawy jakości zdrowotnej żywności. Tłum. W. Fischer, PZWRiL, Poznań 1991.
- [28] WHO: High-dose irradiation. Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of joint FAO/IAEA/WHO study group. WHO technical report series 890, Genewa 1999.
- [29] Wüst O.: French patent 701 302, 1930.
- [30] www.iaea.org/icgfi/documents/publications.htm oraz www.iaea.org/icgfi/documents/codes.htm

FOOD IRRADIATION FROM THE TECHNOLOGICAL, LEGISLATIVE, AND INDUSTRIAL IMPLEMENTATION ASPECTS

S u m m a r y

The paper, there is presented the current state of knowledge regarding the ionising radiation applied to preserve food, advantages and limitations of this method, food products allowed of being irradiated, recommended dose levels, food irradiation facilities, and legalizing this method in Poland, European Union, and in other countries. While discussing the historical point of view, it was accentuated what part the international organizations WHO, IAEA, and FAO played in developing this technology, conducting investigations, educating consumers, and in indispensably legalizing food irradiation technique for the purpose of implementing it in industrial applications.

Key words: ionizing radiation, food preservation, legal issues relating to food irradiation 