

Dr inż. Hanna JĘDRZEJCZYK
Dr inż. Monika HOFFMANN
Mgr inż. Ewa ŚWIĘTOCHOWSKA
Katedra Żywności Funkcjonalnej i Towaroznawstwa SGGW w Warszawie

METODA RADIACYJNA W UTRWALANIU ŻYWNOSCI® Część II

W artykule przedstawiano zagadnienia dotyczące wpływu napromieniowania na wartość odżywczą oraz bezpieczeństwo mikrobiologiczne utrwalonego produktu żywnościowego.

Słowa kluczowe: utrwalanie żywności, metoda radiacyjna.

WSTĘP

Metoda radiacyjna jest zaliczana do fizycznych technik utrwalania żywności. Do licznych zalet omawianej techniki należy zaliczyć: stosunkowo niewielki wzrost temperatury (2,5°C przy 10 kGy), możliwość utrwalania produktu gotowego w opakowaniu, eliminację stosowania chemicznych środków konserwujących. Niemniej jednak, nadrzędnym celem stosowania techniki radiacyjnej jest obniżenie ogólnej liczby mikroorganizmów oraz zniszczenie patogenów będących najczęstszą przyczyną zatruc pokarmowych [20, 15].

Celem artykułu jest poszerzenie informacji w zakresie prezentacji zalet techniki radiacyjnej w utrwalaniu żywności.

WPŁYW PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA MIKROORGANIZMY

Radiacyjne utrwalanie produktów żywnościowych jest korzystne z uwagi na zmniejszenie ilości drobnoustrojów chorobotwórczych, co wpływa na poprawę bezpieczeństwa zdrowotnego utrwalanej żywności oraz ze względu na redukcję ilości powstających ubytków, co wydłuża okres trwałości produktu [27].

Zależność między stopniem zorganizowania organizmu, a wrażliwością na działanie promieniowania można określić jako wprost proporcjonalną [29]. Inaktywacja mikroorganizmów wynika z uszkodzenia kwasów nukleinowych na skutek działania promieniowania jonizującego [10, 31, 39]. **Skutkiem napromieniowania żywej komórki może być jej śmierć, utrata zdolności reprodukcyjnych lub uszkodzenie DNA.** Możliwe jest także, że promieniowanie nie będzie miało żadnego wpływu na komórkę [18].

Dawka promieniowania wymagana do kontrolowania mikroorganizmów w żywności zależy przede wszystkim od początkowej ilości drobnoustrojów w utrwalanym produkcie oraz wrażliwości danego gatunku na działanie promieniowania [10]. Zależność między liczbą komórek mikroorganizmów, a wielkością dawki konieczną do zastosowania w celu uzyskania sterylizacji żywności jest wprost proporcjonalna [17].

Ponadto na wrażliwość drobnoustrojów na promieniowanie wpływają też czynniki związane z utrwalanym produktem, tj.: skład, wilgotność, stan produktu (świeży/zamrożony), a także warunki w których przeprowadza się utrwalanie (temperatura, zawartość tlenu) [10].

Hierarchia drobnoustrojów według malejącej oporności na działanie promieniowania jonizującego przedstawia się następująco: bakterie przetrwalnikujące, wirusy, drożdże, pleśnie, bakterie Gram – dodatnie, bakterie Gram – ujemne [17, 28]. W celu inaktywacji wirusów stosuje się napromieniowanie w dawce od kilku do kilkunastu kGy, natomiast najefektywniejsze jest połączenie metody radiacyjnej i obróbki termicznej podczas utrwalania żywności [11].

Do organizmów odpornych na działanie niskich dawek promieniowania jonizującego można zaliczyć drożdże, bakterie z rodzaju *Enterococcus* oraz przetrwalniki różnych gatunków *Clostridium* i *Bacillus* [35]. Jako miarę wrażliwości mikroorganizmów na działanie radiacji przyjęto dawkę promieniowania wyrażoną w kGy, potrzebną do 10-krotnego zredukowania liczby populacji i określa się ją symbolem D_{10} [17, 20]. W tabeli 1 przedstawiono dane na temat radiooporności wybranych bakterii.

Dla gatunków wrażliwych na działanie promieniowania, jak *Campylobacter* i *E. coli* wartość D_{10} wynosi około 0,2 kGy, a dla gatunków tj. *Salmonella* czy *Listeria* wartość D_{10} mieści się w granicach 0,4-0,8 kGy (Anonim, 2008). Jak podaje Roberts (1998) [30], napromieniowanie świeżego mięsa i drobiu dawką 3 kGy, niszczy ponad 99% bakterii patogennych tj.: *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli* O157:H7.

W grupie bakterii zaliczanych do potencjalnie wrażliwych na działanie radiacji pojawiają się pewne wyjątki. Jak podaje Lewicki (1992) [22] bakterie z gatunku *Lactobacillus sake* ($D_{10} = 0,7-1,2$ kGy) nie ulegają zniszczeniu nawet po zastosowaniu promieniowania w dawce 5 kGy na produkt mięsny, zapakowany w odpowietrzoną folię. Do jednych z najbardziej radioopornych gatunków należy *Micrococcus radiodurans*.

Bakteryjne zarodniki są o wiele bardziej odporne na utrwalanie radiacyjne - wartość D_{10} dla zarodników *Clostridium botulinum* wynosi powyżej 2,8 kGy. Tego typu spory mogą przeżyć niższe dawki promieniowania i stanowić zagrożenie zdrowotne w niektórych typach żywności (Anonim, 2008). Szczególne ryzyko dla zdrowia publicznego wiąże się z obecnością w żywności przetrwalników bakterii patogennych, a zwłaszcza *Clostridium botulinum* i gatunków z rodzaju *Bacillus* [35]. Przy zastosowaniu wysokich dawek promieniowania jonizującego (powyżej 10 kGy) można uzyskać produkt całkowicie wolny nawet od zarodników patogenów, tj. *Clostridium botulinum* i *Bacillus*. Jednak stosowanie tak dużych dawek wpływa na pogorszenie jakości sensorycznej żywności [11].

Tabela 1. Radiooporność wybranych bakterii na działanie promieniowania podczas utrwalania radiacyjnego świeżego produktu żywnościowego pochodzenia zwierzęcego [10]

Bakteria	Wielkość dawki D_{10} (kGy)
Formy wegetatywne	
<i>Aeromonas hydrophila</i>	0.14–0.19
<i>Bacillus cereus</i>	0.17
<i>Brucella abortus</i>	0.34
<i>Campylobacter jejuni</i>	0.08–0.20
<i>Clostridium perfringens</i>	0.59–0.83
<i>Escherichia coli (incl. O157:H7)</i>	0.23–0.35
<i>Lactobacillus spp.</i>	0.3–0.9
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.63–0.83
<i>Pseudomonas putida</i>	0.06–0.11
<i>Salmonella spp.</i>	0.3–0.8
<i>Streptococcus faecalis</i>	0.65–1.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.26–0.6
<i>Vibrio spp.</i>	0.03–0.12
<i>Yersinia enterocolitica</i>	0.04–0.21
Bakterie przetrwalnikujące	
<i>Bacillus cereus</i>	1.6
<i>Clostridium botulinum typ A i B</i>	1.0–3.6
<i>Clostridium botulinum typ E</i>	1.25–1.40
<i>Clostridium sporogenes</i>	1.5–2.2

Toksyny występujące w utrwalanej żywności cechują się bardzo niskim stopniem wrażliwości na promieniowanie jonizujące [17].

W celu wyeliminowania zagrożenia skażenia żywności przez toksyny produkowane przez grzyby stosuje się dawki promieniowania w ilości 4-6 kGy. Stosunkowo niską radioopornością cechuje się *Phytophthora infestans*, który wywołuje zarazę ziemniaczaną. Do jego inaktywacji potrzebna jest dawka 0,1 kGy.

Należy jednak pamiętać, że skuteczność inaktywacji drobnoustrojów zależy przede wszystkim od poziomu skażenia produktu żywnościowego [11]. Ponadto radiacyjna metoda konserwacji żywności, podobnie jak konwencjonalne techniki utrwalania niszczą jedynie mikroflorę obecną w żywności. W związku z tym produkt żywnościowy, po utrwaleniu metodą radiacyjną, powinien być odpowiednio przechowywany w celu wyeliminowania zagrożenia dekontaminacji [31]. Warto podkreślić, że promieniowanie jonizujące nie tylko działa destrukcyjnie na mikroorganizmy, ale także obniża ich odporność na działanie czynników termicznych i chemicznych, co pozwala na stosowanie skojarzonych metod utrwalania żywności [18].

WPŁYW PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA PODSTAWOWE SKŁADNIKI ŻYWNOCI

Zin (2004) [38] wskazuje jednoznacznie, że przeprowadzone dotychczas badania dowiodły, że utrwalanie radiacyjne nie wpływa na obniżenie wartości odżywczej składników żywności. Poniżej przedstawiono dane dotyczące wpływu napromieniowania na poszczególne składniki żywności.

Tłuszcze

Lipidy, a przede wszystkim nienasycone kwasy tłuszczowe pod wpływem promieniowania jonizującego ulegają autooksydacji, w efekcie czego powstają nadtlutki oraz związki karbonylowe [29]. Procesy powstawania rodników podczas działania promieniowania jonizującego oraz w czasie jęlczenia tłuszczu są do siebie zbliżone [11, 14]. Stosunkowo wysoką podatnością na działanie promieniowania jonizującego charakteryzują się fosfolipidy. **Uszkodzenia powstałe pod wpływem radiacji polegają na pękaniu wiązań estrowych, co skutkuje wzrostem kwasowości i pogorszeniem zapachu tłuszczu [11].** Ponadto w badaniach Brito i wsp. (2002) [2] wykazano, że **promieniowanie jonizujące przyczyniło się do zwiększenia zawartości izomerów trans kwasów tłuszczowych w utrwalanej radiacyjnie wołowinie.**

Przeprowadzanie radiacyjnego utrwalania żywności w warunkach beztlenowych, bez dostępu światła, w obniżonej temperaturze lub z zastosowaniem antyoksydantów może skutecznie zminimalizować skutki utleniania tłuszczu [11].

Białka i aminokwasy

Do najbardziej wrażliwych aminokwasów na działanie promieniowania jonizującego należy zaliczyć aminokwasy siarkowe (cysteina, cystyna, metionina) oraz treoninę i alaninę [29]. Zmiany zachodzące w aminokwasach pod wpływem promieniowania jonizującego sprowadzają się do ich dezaminacji i dekarboksylacji. **W efekcie radiolizy niektórych aminokwasów (zawierających grupy tiolowe lub mostki dwusiarczkowe), powstają specyficzne związki (w tym siarkowodor) nadające nieprzyjemny zapach [11].**

Zmiany zachodzące w białkach podczas radiacji, są podobne do tych, które powstają w wyniku termicznej denaturacji białka [29]. **Wynikiem działania promieniowania jonizującego na białka jest powstawanie produktów radiolizy aminokwasów oraz zmiany właściwości białka, tj.: rozpuszczalność, lepkość, aktywność enzymatyczna, zdolność wiązania wody i soli. Radiacja nie wpływa niekorzystnie na wartość żywnościową białka, ale może wywołać niepożądane zmiany sensoryczne utrwalanego produktu [11].**

Węglowodany

Polisacharydy w utrwalanym radiacyjnie produkcie mogą hydrolizować, zaś cukry proste mogą przekształcać się w reduktony, co może inicjować reakcje Maillarda [29]. **Wysoka dawka promieniowania jonizującego zmienia właściwości skrobi tak, że staje się ona rozpuszczalna w wodzie, natomiast z cukrów prostych wydziela się dwutlenek węgla oraz dochodzi do rozpuszczania się kryształów oraz brunatnienia i degradacji łańcucha węglowodanowego [11].**

W przypadku napromieniowania żywności zawierającej w swym składzie pektyny, celulozę czy krochmal może dochodzić do niekorzystnych zmian w zakresie ich właściwości fizycznych (lepkość, rozpuszczalność), przyczyniając się do ograniczenia funkcjonalności produktu [9].

Witaminy

Wielkość strat witamin na skutek napromieniowania produktu jest stosunkowo niewielka i nie odbiega od wielkości strat zachodzących podczas stosowania innych metod utrwalania, tj. gotowanie, suszenie [38]. Fiszer (1992) [11] podaje, że ubytki witamin w utrwalonych radiacyjnie produktach spożywczych są nawet mniejsze niż podczas dłuższego przechowywania lub termicznego utrwalania tych samych produktów. Również Gralik i Warchalewski (1999) [14] określają straty witamin podczas utrwalania żywności przy zastosowaniu niskich dawek (do 1 kGy) promieniowania jako niskie. Jak podaje Zin (2008) [39], straty witaminy A, B₁, C i E kształtują się na poziomie 20 – 60%. Ubytki witamin podczas radiacyjnego konserwowania żywności, które przez wszystkich autorów są zgodnie oceniane jako niewielkie, można dodatkowo zmniejszyć. Jak podaj Fiszer (1992) [11] sposobem na minimalizację strat witamin (np. tiaminy w mięsie), jest połączenie zastosowania promieniowania z inną technologią utrwalającą, ograniczającą dostęp tlenu (pakowanie próżniowe, stosowanie gazów obojętnych) oraz obniżenie temperatury.

Wielkość strat witamin w żywności utrwalanej radiacyjnie uzależniona jest od trzech czynników: stosowanej dawki promieniowania, temperatury oraz dostępu tlenu [11].

Do witamin wrażliwych na działanie promieniowania jonizującego można zaliczyć witaminy rozpuszczalne w tłuszczach (A, D, E, K) [29]. Wrażliwość witamin rozpuszczalnych w tłuszczach na działanie promieniowania kształtuje się w następujący sposób: E > A > D > K. Z kolei najmniej odporną witaminą rozpuszczalną w wodzie jest witamina B₁. Mimo wrażliwości tiaminy warto jednak zauważyć, że jej zawartość w wołowinie poddanej radiacyjnej konserwacji jest znacznie wyższa niż w przypadku jej odpowiednika utrwalonego na drodze termicznej sterylizacji techniką kowalencyjną [9]. Pozostałe witaminy rozpuszczalne w wodzie podatne na działanie promieniowania to witamina B₁₂ i witamina C. Natomiast niacynę i ryboflawinę cechuje wyższa oporność na napromieniowanie [29]. Fiszer (1992) do grupy witamin opornych na działanie promieniowania zalicza, poza niacyną, również kwas pantotenowy oraz kwas foliowy [11].

Warto jednak zauważyć, że poszczególne składniki wyodrębnione z żywności do badań w układach modelowych są bardziej wrażliwe na działanie promieniowania jonizującego, aniżeli w przypadku gdy występują w złożonym produkcie żywnościowym. gdzie poszczególne składniki oddziałują na siebie protekcyjnie [29].

WNIOSKI

1. Metoda radiacyjna gwarantuje (podobnie jak inne techniki konserwacji żywności), uzyskanie efektu bezpieczeństwa mikrobiologicznego oraz trwałości produktów żywnościowych.

2. Dodatkową korzyścią stosowanej techniki jest możliwość uzyskania mniejszych strat składników odżywczych oraz zapewnienie wyższej jakości sensorycznej utrwalanej żywności, niż w przypadku konserwacji metodami konwencjonalnymi.

3. W przypadku metody radiacyjnej dodatkową, poważną barierą na drodze jej rozwoju są uprzedzenia konsumentów, dla których radiacja żywności postrzegana jest jako niebezpieczna technika, czyniąca żywność napromieniowaną i toksyczną.

4. Technika radiacyjna, ze względu na liczne ograniczenia technologiczne nie może być uznana za metodę uniwersalną.

LITERATURA

- [1] ANONIM. 2008. *Food irradiation: a technology wasted or simply unwanted*. Food Engineering And Ingredients, 33, 2, 16-19.
- [2] BRITO M.S., VILLAVICENCIO A.L.C.H., MANCINI-FILHO J. 2002. *Effects Of Irradiation On Trans Fatty Acids Formation In Ground Beef*. Radiation Physics And Chemistry, 63, 3-6, 337-340.
- [3] BRUHN C. M., WOOD O. 1996. *Position Of The American Dietetic Association Food Irradiation*. Journal Of The American Dietetic Association, 96, 1, 69-72.
- [4] BRUL S., KILS F. M., KNORR D., ABEE T., NOTERMANS S. 2003. *Food preservation and the development of microbial resistance*. [W:] Zeuthen P, Bøgh Sørensen L.: Food Preservation Techniques. Woodhead Publishing Limited And Crc Press, Cambridge, S. 524-544.
- [5] BYUN M.-W., LEE J.-W., YOON H.-S., JO C., KIM H.-Y. 2002. *Application of gamma irradiation for Inhibition of food allergy*. Radiation Physics And Chemistry, 63, 3-6, 369-370.
- [6] CHAUDRY M. A., BIBI N., KHAN M., KHAN M., BADSHAH A., QURESHI M. J. 2004. *Irradiation treatment of minimally processed carrots for ensuring microbiological safety*. Radiation Physics And Chemistry, 71, 1-2, 171-175.
- [7] DIEHL, J. 1995. *Safety of irradiated foods*, Marcel Dekker Inc., New York, 189.
- [8] DIEHL J.F. 2002. *Food irradiation – past, present and future*. Radiation Physics And Chemistry, 63, 3-6, 211-215.
- [9] EHLERMANN D. A E. 2002. *Irradiation*. [W:] Henry C. J. K., Chapman C. Red. The Nutrition Handbook For Food Processors. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 371-392.
- [10] FARKAS J. 2006. *Irradiation for better foods*. Trends In Food Science & Technology, 17, 4, 148-152.
- [11] FISZER W. 1992. *Promieniowanie jonizujące szansą trwałej i zdrowej żywności*. Seria Popularno – Naukowa Nr 5. Polskie Towarzystwo Technologów Żywności, Oddział Wielkopolski, Poznań.
- [12] FISZER W. 1995. *Żywność napromieniona*. Przem. Spoż., 49, 7, 250-252.
- [13] FISZER W. 1996. *Radiacja żywności na świecie*. Przem. Spoż., 5, 34-35.

- [14] GRALIK J., WARCHALEWSKI J. 1999. *Możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego w przemyśle spożywczym*. Przem. Spoż., 10, 31-34.
- [15] HIRNEISEN K.A., BLACK E.P., CASSARINO J.L., FINO V.R., HOOVER D.G., KNIEL K.E. 2010. *Viral inactivation in foods: a review of traditional and novel food-processing technologies*. Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety, 9, 1, 3-20.
- [16] HUGO W. B. 1995. *A brief history of heat, chemical and radiation preservation and disinfection*. International Biodeterioration And Biodegradation, 36, 3-4, 197-217.
- [17] JAŁOSIŃSKA-PIEŃKOWSKA M. 2007. *Zastosowanie promieniowania różnego typu w celu inaktywacji drobnoustrojów*. [W:] Kołozyn-Krajewska D. Red.: Higiena Produkcji Żywności.
- [18] JANOWICZ M. 2006. *Wykorzystanie promieniowania jonizującego w technologii żywności*. Przem. Spoż., 4, 30-37.
- [19] KAWKA A., TROJANOWSKA K., GĄSIOROWSKI H., GIEBEL H. 1989. *Wpływ radiacyjnego utrwalania chleba żytniego na jego przydatność konsumpcyjną*. Przem. Spoż., 8, 218-221.
- [20] KIJOWSKI J., MAGNUSKI T., ZABIELSKI J. 1994. *Jakość masy jajowej w proszku poddanej promieniowaniu jonizującemu*. Przem. Spoż., 1, 22-24.
- [21] KŁOCZKO I. 2006. *Wpływ wysokich ciśnień uhp na niektóre właściwości i stan higieniczny mięsa wieprzowego*. Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego, 1, 25-30.
- [22] LEWICKI P. 1992. *Zastosowanie promieniowania jonizującego w technologii żywności*. Przem. Spoż. 46, 2, 56-57.
- [23] MIGDAŁ W., OWZARCYK H. B., KĘDZIA B., HOLDERNA – KĘDZIA E., MADAJCYK D. 2000. *Microbiological decontamination of natural honey by irradiation*. Radiation Physics And Chemistry, 57, 285-288.
- [24] OHLSSON, T., BENGTSSON, N. RED. 2002. *Minimal processing technologies in the food industry*. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.
- [25] ÖZDEN Ö., İNGÜR M., ERKAN N. 2007. *preservation of iced refrigerated sea bream sparus aurata by irradiation: microbiological, chemical and sensory attributes*. Eur. Food Res. Technol., 225, 797-805.
- [26] PARROTT D. L. 1992. *Use of ohmic heating for aseptic processing of food particulates*. Food Technology, 46, 12, 68-72.
- [27] PATTERSON M. F. 1992. *Benefits of irradiation in improving the microbiological safety of foods*. [W:] Proceedings Series: Cost – Benefit Aspects Of Food Irradiation Processing. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [28] PIETRZYK S., DRUŻKOWSKI M. 2006. *Nowoczesne metody utrwalania żywności*. Laboratorium, 8-9, 32-36.
- [29] PIJANOWSKI E., DLUŻEWSKI M., DLUŻEWSKA A., JARCZYK A. 2004. *Ogólna technologia żywności*. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa.
- [30] RAHMAN S. 2007. *Irradiation preservation of foods*. [W:] Rahman S.: Handbook Of Food Preservation. Boca Raton: Crc Press, New York, 762-782.
- [31] ROBERTS T. 1998. *Cold pasteurization of food by irradiation*. Virginia Tech, Publication Number 458-300, Virginia.
- [32] Rozporządzenie Ministra Zdrowia d dn. 20 Czerwca 2007 r. W Sprawie Napromieniowania Żywności Promieniowaniem Jonizującym. Dz.U. Nr 121, poz. 841.
- [33] SONG H.-P., KIM D.-H., JO C., LEE C.-H., KIM K.-S., BYUN M.-W. 2006. *Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of Ffresh vegetable juice*. Food Microbiology, 23, 4, 372-378.
- [34] STEPANIAK L. 2003. *Nietermiczne techniki utrwalania żywności*. Przem. Spoż., 8, 102-104.
- [35] TEUFEL P. 1983. *Microbiological aspects of food irradiation*. [W:] Elias P. S., Coehn A. J.: Recent Advances In Food Irradiation. Elsevier Biomedical Press.
- [36] VICENTE A. A. 2007. *Novel technologies for the thermal processing of foods*. Ibb – Institute For Biotechnology And Bioengineering, Centre Of Biological Engineering, Braga.
- [37] ZHANG L., LU Z., LU F., BIE X. 2006. *Effect of tirradiation on quality – maintaining of fresh – lettuce*. Food Control, 17, 3, 225-228.
- [38] ZIN J. 2004. *Utrwalanie radiacyjne żywności*. Gospodarka Mięsna, 9, 24-28.
- [39] ZIN M. RED. 2008. *Utrwalanie i przechowywanie żywności*. Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, Rzeszów.

THE METHODS OF FOOD PRESERVATION – THE FOOD IRRADIATION

Part II

SUMMARY

The second part of the paper referring to food irradiation elaborates on influence of radiation on nutritious value as well as the microbiological safety of the preserved food products.

Key words: food preservation, food irradiation.