

**RADIATION PROTECTION ASSOCIATION OF
SERBIA AND MONTENEGRO**



PROCEEDINGS

XXXIII SYMPOSIUM RPASM

**Banja Koviljača
1th-3th October 2025**

**Belgrade
2025**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXXIII СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ

01-03.10.2025.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за
Републику Србију, Универзитет у Београду
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

др Славко Димовић

Уредници:

др Игор Челиковић , др Милица Рајачић 

ISBN 978-86-7306-178-8

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“ - Institut od nacionalnog značaja za Republiku
Srbiju, Univerzitet u Beogradu

Техничка обрада:

Милош Ђалетић

Електронско издање:

Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за
Републику Србију, Универзитет у Београду, Мике Петровића Аласа 12-14,
11351 Винча, Београд, Србија

Година издања:

Октобар 2025.



Овај Зборник као и сви радови у њему подлежу лиценци:

Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International
License, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Ова лиценца дозвољава само преузимање и дистрибуцију дела, ако/док се
правилно назначавача име аутора, без икаквих промена дела и без права комерцијалног
коришћења дела.

**XXXIII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Бања Ковиљача, 01-03.10.2025. године

Организатори:

ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ

Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду

Лабораторија за заштиту од зрачења и заштиту животне средине „Заштита“

Организациони одбор:

Председник:

Милица Рајачић¹

Чланови:

Игор Челиковић¹

Милош Ђалетић¹

Александра Самолов¹

Јелена Крнета Николић¹

Наташа Сарап¹

Јелена Влаховић¹

Даница Јовашевић¹

Ивана Пепић¹

Марко Весовић¹

Никола Кржановић¹

¹Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду

**XXXIII СИМПОЗИЈУМ ДРУШТВА
ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**

Бања Ковиљача, 01-03.10.2025. године

Научни одбор:

др Велибор Андрић¹

др Владимир Удовичић²

др Душан Мрђа³

др Душан Топаловић¹

др Игор Челиковић¹

др Јелена Крнета Николић¹

др Јелица Грујић Милановић⁴

др Јована Кнежевић Радић³

др Јована Николов³

др Лука Перaziћ⁵

др Љиљана Гулан⁶

др Маја Еремић-Савковић⁷

др Марија Јанковић¹

др Марија Шљивић Ивановић¹

др Милица Рајачић¹

др Мирјана Ђурашевић¹

др Наташа Сарап¹

др Невена Здјеларевић⁵

др Никола Кржановић¹

др Предраг Божовић¹

др Софија Форкапић³

др Србољуб Станковић¹

¹Институт за нуклеарне науке „Винча“ - Институт од националног значаја за Републику Србију, Универзитет у Београду

²Институт за физику, Универзитет у Београду

³Природно математички факултет, Универзитет у Новом Саду

⁴Институт за медицинска истраживања, Универзитет у Београду

⁵ЈП Нуклеарни објекти Србије, Београд

⁶Природно математички факултет, Универзитет у Приштини

⁷Директорат за радијациону и нуклеарну сигурност и безбедност Србије

JONIZUJUĆE ZRAČENJE U OBRADI MESA I NJEGOVI EFEKTI

Aleksandra ANGELESKA¹, Risto UZUNOV¹, Radmila NIKOLOVSKA¹,
Elizabeta DIMITREIESKA STOJKOVIC¹, Igor ESMEROV¹, Ljupčo ANGELOVSKI¹

1) *Sveti Ćirilo i Metodije, Univerzitet u Skoplju, Fakultet veterinarske medicine-Skoplje,
Lazar Pop - Trajkov 5/7, 1000 Skopje, Republika Severna Makedonija*

Autor za korespondenciju:

Aleksandra ANGELESKA, mizasandra@yahoo.com

SAŽETAK

Istorijski gledano, još u antičko doba postojala je svest o povezanosti hrane i ljudskog zdravlja. Hipokrat (460. p. n. e.), otac medicine, ukazivao je da se mnoge bolesti mogu dovesti u vezu sa načinom ishrane, ističući da „neka hrana bude tvoj lek, a lek tvoja hrana“. Ovo rano razumevanje važnosti bezbedne i kvalitetne ishrane postavilo je temelje kasnijim nastojanjima da se hrana očuva i zaštititi od štetnih uticaja. Tokom vekova razvijane su različite metode konzerviranja, od sušenja, soljenja i dimljenja, pa sve do savremenih tehnologija koje uključuju jonizujuće zračenje kao efikasan način produženja trajnosti i očuvanja nutritivnih svojstava mesa. Ovaj rad predstavlja pregled primene jonizujućeg zračenja u obradi mesa.

Koristi ove tehnologije ogledaju se u eliminaciji patogenih mikroorganizama, produženju roka trajanja i nutritivnih osobina, pri čemu se uvažavaju ograničenja koja nastaju pri većim dozama. Analiza obuhvata mikrobiološke, hemijske, fizičke i aspekte čulne percepcije, kao i relevantne regulatorne okvire na međunarodnom i nacionalnom nivou. Zaključuje se da jonizujuće zračenje ima značajan potencijal za unapređenje bezbednosti hrane i održivosti u prehrambenoj industriji, ali zahteva pažljivu primenu i jasnu komunikaciju sa potrošačima.

Uvod

Hrana je osnovna potreba za održavanje ljudskog života, ali istovremeno predstavlja i medijum za prenos brojnih oboljenja, što je čini globalnim zdravstvenim izazovom i faktorom smanjene ekonomske produktivnosti. Savremeni koncept bezbednosti hrane počiva na pristupu „od njive do viljuške“, koji ukazuje da se rizici mogu javiti u svakoj fazi lanca proizvodnje, od primarne poljoprivrede, preko pakovanja i transporta, do finalne potrošnje [1]. Podaci Svetske zdravstvene organizacije [2] pokazuju da svake godine oko 600 miliona ljudi oboli usled konzumiranja kontaminirane hrane, dok približno 420.000 umre od posledica trovanja hranom. Ovi podaci jasno naglašavaju značaj pouzdanih standarda i tehnologija koje obezbeđuju zdravstveno ispravnu hranu [3].

Meso zauzima posebno mesto u ljudskoj ishrani, jer sadrži proteine visoke biološke vrednosti, vitamine i minerale neophodne za funkcionisanje organizma [4]. Istovremeno, ono je izuzetno podložno mikrobiološkoj kontaminaciji i brzom kvarenju, što ga čini potencijalnim izvorom ozbiljnih zdravstvenih rizika. U cilju smanjenja prisustva patogenih mikroorganizama i produženja trajnosti mesnih proizvoda, sve češće se primenjuje tehnologija jonizujućeg zračenja [5]. Taj postupak podrazumeva izlaganje mesa kontrolisanim dozama gama zraka, elektronskih snopova ili rendgenskog zračenja, pri čemu dolazi do oštećenja genetskog materijala mikroorganizama, što dovodi do njihovog uništavanja ili onemogućavanja daljeg razmnožavanja [6, 7].

Naučno je dokazano da hrana tretirana jonizujućim zračenjem ne postaje radioaktivna. Samo zračenje ne dolazi u direktan kontakt sa hranom, već izaziva fizičko-biohemijske promene u ćelijskim strukturama, a krajnji proizvod ostaje bezbedan za konzumiranje [8].

Cilj ovog rada je da pruži pregled dosadašnjih istraživanja o efektima jonizujućeg zračenja na meso, da kritički sagleda naučne dokaze o njegovim prednostima i ograničenjima, kao i da prikaže glavne trendove i regulatorne pristupe u ovoj oblasti.

Efekti jonizujućeg zračenja na meso

Jonizujuće zračenje predstavlja savremenu tehnologiju koja se sve češće primenjuje u obradi hrane, naročito mesa i mesnih proizvoda, sa ciljem da se poveća njihova bezbednost i trajnost. Primena gama zraka, snopova elektrona i rendgenskog zračenja omogućava uništavanje patogenih mikroorganizama bez upotrebe hemijskih aditiva ili visokih temperatura, čime se čuva prirodni sastav proizvoda [9, 10].

Uticaj na kvalitet mesa imaju doza zračenja, vrsta mesa i uslovi skladištenja. Optimalne doze produžavaju rok trajanja i održavaju svežinu, dok prekomerna doza može izazvati promene u ukusu, boji i nutritivnim svojstvima [11]. Istraživanja potvrđuju da zračenje ne izaziva radioaktivnost, a fizičko-hemijske promene uporedive su sa onima koje nastaju tokom termičke obrade ili skladištenja [8].

Postupak tretiranja mesa sa jonizujućem zračenjem je prepoznat kao bezbedan i kontrolisan od strane međunarodnih institucija, a koristi se ogledaju u smanjenju bacanja hrane, unapređenju ekonomske održivosti i olakšanju izvoza na zahtevna tržišta [7, 12]. Iako postoje izazovi vezani za percepciju potrošača, ova tehnologija ima potencijal da odgovori na globalne zahteve za sigurnom i kvalitetnom hranom.

Uticaj na mikrobiološku bezbednost

Mikrobiološka bezbednost mesa predstavlja osnovu njegove upotrebne vrednosti, jer prisustvo patogenih mikroorganizama direktno ugrožava zdravlje ljudi. Jonizujuće zračenje omogućava onesposobljavanje ili eliminaciju bakterija, virusa i parazita koji se često nalaze u mesu, među kojima su najznačajniji *Salmonella*, *Listeria monocytogenes* i *Escherichia coli*. Efekat se postiže oštećenjem DNK strukture i ćelijskih membrana mikroorganizama, što dovodi do njihove nesposobnosti da se razmnožavaju i izazovu infekcije [9]. Prednost ovakvog pristupa ogleda se u značajnom smanjenju bolesti prenosivih hranom, dok se potencijalni rizik povezuje sa neadekvatnim doziranjem, koje može dovesti do pojave sojeva otpornih na zračenje [13].

Hemijske promene u sastavu mesa

Hemijski sastav mesa čine proteini, masti, vitamini i minerali, a svi oni mogu doživeti određene promene pri izlaganju jonizujućem zračenju. Posebno su osetljivi vitamini rastvorljivi u vodi i masne komponente koje mogu oksidovati, što u pojedinim uslovima utiče na ukus i nutritivnu vrednost [8]. Cilj tretmana nije modifikacija hranljivog profila već obezbeđenje mikrobiološke stabilnosti, pa je neophodno pažljivo balansiranje doza. Prednost je očuvanje većine hranljivih materija u prihvatljivim granicama, dok se rizik odnosi na oksidativne procese u slučaju viših doza ili nepravilnog skladištenja [11].

Fizička svojstva i struktura mesa

Fizičke karakteristike kao što su tekstura, mekoća i sposobnost zadržavanja vode predstavljaju važne pokazatelje kvaliteta mesa. Zračenje može delimično uticati na strukturu proteina, što u određenim slučajevima poboljšava mekoću i sočnost. Ipak, kod viših doza

(> 7 kGy) postoji rizik od narušavanja teksture, što se odražava kroz pojavu suvoće i smanjene elastičnosti [10, 14]. Prednost tehnologije je u tome što optimalno doziranje (2 kGy - 5 kGy) omogućava očuvanje fizičkih karakteristika bez dodatne obrade, dok prekomerna ekspozicija može umanjiti kvalitet proizvoda [14].

Produženje roka trajanja

Rok trajanja mesa od presudnog je značaja za njegovu bezbednost i ekonomsku održivost proizvodnje. Jonizujuće zračenje usporava rast mikroorganizama i oksidativne procese, što omogućava da meso ostane upotrebljivo tokom dužeg perioda [7]. Time se obezbeđuje stabilan proizvod pogodan za transport i skladištenje bez većeg gubitka kvaliteta. Prednosti su smanjenje količina odbačene hrane i unapređenje logistike, dok se rizici povezuju sa nedovoljno jasnim označavanjem ili slabom informisanošću potrošača, što može izazvati rezervu prema ovoj tehnologiji [12].

Nutritivni kvalitet

Nutritivni kvalitet određuje u kojoj meri meso nakon zračenja zadržava svoje hranljive materije. Naučne analize pokazuju da proteini uglavnom ostaju stabilni uz manje promene u strukturi, dok su masti i vitamini podložniji oštećenju [11]. Svrha primene zračenja je postizanje bezbednosti bez narušavanja nutritivne vrednosti. Prednost je to što meso ostaje vredan izvor proteina i minerala, dok se rizik odnosi na moguće smanjenje sadržaja pojedinih vitamina, naročito pri visokim dozama i produženom skladištenju [8].

Ljudska čula percepcija mesa

Čulna svojstva imaju veliko značenje za prihvatljivost proizvoda na tržištu, jer i pored visoke bezbednosti, neprihvatljiv izgled ili ukus mogu smanjiti poverenje potrošača. Istraživanja pokazuju da pri pažljivo odabranim dozama boja i tekstura mesa u velikoj meri ostaju očuvane, dok se veće promene primećuju u aromi i ukusu kada se koriste više doze [9]. Prednost je očuvanje svežine i izgleda, što povećava privlačnost proizvoda, dok se rizik odnosi na pojavu neprijatnog mirisa ili ukusa usled nepravilne primene [12].

Regulatorni okvir za zračenje mesa

Na globalnom nivou osnovu postavlja Codex Alimentarius, koji su uspostavili FAO i WHO, a koji definiše pravila o dozama, kategorijama hrane koje mogu biti tretirane i obavezno označavanje. Pored toga, Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA) i Svetska zdravstvena organizacija (WHO) promovišu zračenje kao bezbednu tehnologiju i objavljuju smernice za njegovu praktičnu primenu. U Evropskoj uniji regulativa je uređena kroz Direktivu 1999/2/EC, kojom se usklađuju zakoni država članica u vezi sa hranom i sastojcima tretiranim jonizujućim zračenjem, i Direktivu 1999/3/EC, kojom se utvrđuje lista kategorija hrane koje mogu biti tretirane [15, 16].

U Sjedinjenim Američkim Državama, Agencija za hranu i lekove (FDA) donela je propise kojima se dozvoljava zračenje mesa i živine u precizno određenim dozama radi eliminacije patogenih mikroorganizama [17]. Ovi dokumenti potvrđuju globalnu prihvatljivost tehnologije pod uslovom da se primenjuje uz strogi nadzor.

U Republici Severnoj Makedoniji regulisanje je ustanovljeno kroz Zakon o bezbednosti hrane [18], kojim su postavljena osnovna pravila u ovoj oblasti. Zračenje je dodatno uređeno posebnim aktima, a posebno značajan je Pravilnik o posebnim zahtevima za bezbednost hrane [19].

Regulatorni okvir na međunarodnom i nacionalnom nivou potvrđuje da se zračenje mesa tretira kao bezbedna i dozvoljena praksa pod uslovom doslednog poštovanja propisanih doza i transparentnog informisanja potrošača.

Rezultati istraživanja

Naučni rezultati potvrđuju da tretirano meso jonizujućem zračenjem prolazi kroz kontrolisane fizičko-hemijske promene koje ga čine bezbednijim za potrošače. Ipak, prevelike doze mogu uticati na nutritivne i čulne osobine, zbog čega je važna striktna primena zakonskih okvira i standarda.

Tabela 1. Analiza aspekata primene jonizujućeg zračenja na meso

Aspekt	Definicija / Značaj	Prednosti	Rizici
Mikrobiološka bezbednost	Smanjenje patogenih mikroorganizama (<i>Salmonella</i> , <i>Listeria</i> , <i>E. coli</i>).	Bezbednije meso za potrošnju.	Nepravilna primena može izazvati rezistentne sojeve.
Hemijski sastav	Promene u proteinima, mastima i vitaminima.	Većina nutrijenata ostaje stabilna.	Oksidacija lipida i gubitak vitamina.
Fizička svojstva	Tekstura, nežnost i sočnost.	Poboljšana nežnost mesa.	Visoke doze mogu dovesti do suvoće.
Rok trajanja	Usporava kvarenje i oksidaciju.	Duža svežina i manji gubici hrane.	Nepoverenje potrošača zbog termina 'zračenje'.
Nutritivni kvalitet	Očuvanje proteina, minerala i vitamina.	Ostaje hranljivo i vredno.	Mogući gubitak vitamina pri visokim dozama.
Organoleptičke osobine	Boja, miris, ukus i prihvatljivost.	Zadržavanje izgleda i svežine.	Neprijatan miris ili ukus pri visokim dozama.

Diskusija i zaključak

Jonizujuće zračenje mesa potvrđuje se kao tehnologija sa značajnim potencijalom za unapređenje bezbednosti i održivosti u prehrambenoj industriji. Smanjivanjem mikrobioloških rizika i produženjem roka trajanja ovaj metod doprinosi većoj stabilnosti snabdevanja i smanjenju potrebe za hemijskim konzervansima. Iako se beleže određene promene u nutritivnom sastavu i svojstvima koja potrošači opažaju čulima, one u najvećem delu ostaju u prihvatljivim granicama, što potvrđuje pogodnost postupka kada se primenjuje u kontrolisanim uslovima. Ipak, ovi aspekti naglašavaju potrebu za daljim istraživanjima usmerenim na detaljno proučavanje nutritivnih promena, dublje razumevanje stavova potrošača i razvoj zajedničkih standarda koji bi omogućili harmonizaciju zakonodavstava.

Literatura

- [1] A. Liaqat, S. Ahsan, R. Iqbal, M.F.J. Chughtai, A. Khaliq, Pathogenic microbes in the food systems. In Food Microbial and Molecular Biology. Apple Academic Press. (2023).
- [2] World Health Organization. Food safety. (2024).
- [3] R. Macfarlane, Integrating the consumer interest in food safety: The role of science and other factors. Food Policy. (2002).
- [4] D.M. Klurfeld, What is the role of meat in a healthy diet? Animal Frontiers, 8 (2018) 3, 5-10.
- [5] F. Shaltout, E. Riad, A.A. AbouElhassan, Prevalence of Mycobacterium tuberculosis in imported cattle offals and its lymph nodes. Veterinary Medical Journal – Giza (VMJG) 63 (2017) 2, 115-122.

- [6] M.T. Munir, M. Federighi, Control of foodborne biological hazards by ionizing radiations. *Foods* 9 (2020) 7, 878.
- [7] P. B. Roberts, Food irradiation: Standards, regulations and world-wide trade. *Radiation Physics and Chemistry*. 130 (2017) 1, 1-4.
- [8] P. Loaharanu, Food irradiation: Current status and future prospects. *Radiation Physics and Chemistry* (2003).
- [9] K. Jayathilakan, K. Sultana, Food irradiation: A technology for food safety and security – A review. *International Journal of Food Science & Nutrition Engineering*, 2 (2012) 2, 12-15.
- [10] E. J. Cummins, Food irradiation: Principles and applications. In M. P. Doyle & R. L. Buchanan (Eds.), *Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers*. Washington, DC: ASM Press. (2016).
- [11] R. Indiarito, A.N. Irawan, E. Subroto, Meat irradiation: A comprehensive review of its impact on food quality and safety. *Foods*. 12 (2023) 9, 1845.
- [12] M. Boshevska, Nutritivni karakteristiki na hranata tretirana so joniziračko zračenje. [Magistarski trud]. Fakultet za zemjodelski nauki i hrana, Skopje. (2020).
- [13] K. Skowron, K. Grudlewska, G. Gryn, K.J. Skowron, A. Swieca, Z. Paluszak, Z. Zimek, A. Rafalski, A., Gospodarek-Komkowska, E. Effect of electron beam and gamma radiation on drug-susceptible and drug-resistant *Listeria monocytogenes* strains in salmon under different temperature. *J. Appl. Microbiol.* 125 (2018) 828–842.
- [14] Y.J.Kim, J.Y. Cha T.K. Kim J.H. Lee S. Jung Y.S. Choi, The Effect of Irradiation on Meat Products. *Food Sci. Anim. Resour.* 44 (2024) 4, 779-789.
- [15] European Parliament and Council. Directive 1999/2/EC on the approximation of the laws of the member states concerning foods and food ingredients treated with ionising radiation. *Official Journal of the European Communities*, 13. 03. 1999. L66/16e23. Brussels.
- [16] European Parliament and Council. Directive 1999/3/EC on the establishment of a Community list of foods and food ingredients treated with ionising radiation. *Official Journal of the European Communities*, 13. 03. 1999. L66/24e25. Brussels.
- [17] Code of Federal Regulations (CFR), 2016. U.S. Government Printing Office, Title 21, Part 179 (2016).
- [18] Official Gazette of RM, Law on Food Safety Of. G. RM No. 157/2010.
- [19] Official Gazette of RM, Rulebook on General Requirements for Food Safety Of. G. RM No. 118/2005.

IONIZING RADIATION IN MEAT PROCESSING AND ITS EFFECTS

Aleksandra ANGELESKA¹, Risto UZUNOV¹, Radmila NIKOLOVSKA¹,
Elizabeta DIMITREIESKA STOJKOVIK¹, Igor ESMEROV¹, Ljupco ANGELOVSKI¹

1) *Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Faculty of Veterinary
Medicine-Skopje, Lazar Pop- Trajkov 5/7, 1000 Skopje, R. of North Macedonia*

Corresponding author:

Aleksandra ANGELESKA, mizasandra@yahoo.com

ABSTRACT

From a historical perspective, even in ancient times there was an awareness of the connection between food and human health. Hippocrates (460 BC), the father of medicine, emphasized that many diseases could be linked to diet, highlighting the idea that “let food be thy medicine and medicine be thy food.” This early recognition of the importance of safe and high-quality nutrition laid the foundations for later efforts to preserve food and protect it from harmful influences. Over the centuries, various preservation methods were developed, ranging from drying, salting, and smoking to modern technologies that include ionizing radiation as an effective way of extending shelf life and maintaining the nutritional properties of meat.

This paper provides a overview of ionizing radiation in meat processing. The advantages of this technology are evident in the elimination of pathogenic microorganisms, the extension of shelf life, and the preservation of nutritional properties, while acknowledging the limitations that may occur at higher doses. The analysis encompasses microbiological, chemical, physical, and sensory aspects, along with relevant regulatory frameworks at both international and national levels. It is concluded that ionizing radiation offers considerable potential for improving food safety and sustainability in the food industry, but requires careful application and transparent communication with consumers.