

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD25003G

UPOTREBA HLADNE VODE KOJA SE AKTIVIRA PLAZMOM ZA DEZINFEKCIJU STOČARSKIH OBJEKATA

USE OF COLD PLASMA-ACTIVATED WATER FOR THE DISINFECTION OF LIVESTOCK FACILITIES

Ana Gotvajn^{1*}, *Štefan Pintarič*¹, *Milutin Đorđević*²

Kratak sadržaj

Održavanje odgovarajućih higijenskih uslova u stočarskim objektima je ključno za obezbeđivanje zdravlja ljudi i životinja, ne zaboravljajući pritom na aspekt zaštite životne sredine. Jedan od novijih i istovremeno održivih pristupa u antimikrobnoj kontroli je upotreba hladne vode koja se aktivira plazmom. To je voda koja je tretirana hladnom plazmom – naprednom tehnologijom oksidacije, te se u njoj formiraju mnoge hemijske reakcije. Oni pokreću formiranje reaktivnih vrsta kiseonika i azota, smanjuju pH vrednost i povećavaju oksidoredukcioni potencijal, što su ključni faktori njene antimikrobne aktivnosti. Istraživanja su pokazala da je hladna voda aktivirana plazmom efikasna protiv širokog spektra patogena, što ukazuje na njenu moguću upotrebu u dezinfekciji stočnih objekata. Trenutno se u tu svrhu najčešće koriste hemijska dezinfekciona sredstva, koja zbog ostataka aktivnih jedinjenja nakon upotrebe mogu predstavljati rizik za životnu sredinu. Nasuprot tome, voda koja se aktivira hladnom plazmom ne sadrži dodata hemijska jedinjenja, što je čini održivom metodom antimikrobne kontrole.

Ključne reči: antimikrobna aktivnost, dezinfekcija, održivi razvoj, voda koja se aktivira hladnom plazmom

Abstract

Maintaining appropriate hygienic conditions in livestock facilities is key to ensuring human and animal health, but we must not forget the environmental protection aspect. An innovative and sustainable approach to antimicrobial control is the use of plasma-activated water. This is water that has been treated with cold plasma – an advanced oxidation technology in which numerous chemical reactions take place. These trigger the formation of reactive oxygen and nitrogen species, lower

¹ Ana Gotvajn, asistent; dr sci. vet. Štefan Pintarič, docent, Univerzitet u Ljubljani, Fakultet veterinarske medicine, Institut za hranu, hranu za životinje i higijenu životne sredine, Gerbičeva 60, 1000 Ljubljana, Slovenija

² Dr sci. vet. med. Milutin Đorđević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za zoohigijenu, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osoba: ana.gotvajn@vf.uni-lj.si

the pH value and increase the redox potential, the key factors for its antimicrobial effect. Research has shown that water activated with cold plasma is effective against a wide range of pathogens, which is why it can also be used to disinfect livestock facilities. At present, chemical disinfectants are usually used for this purpose, which can pose a risk to the environment due to residues of the active ingredients after use. Cold plasma-activated water, on the other hand, contains no additional chemical compounds, making it a sustainable method of antimicrobial control.

Keywords: antimicrobial activity, disinfection, plasma-activated water, sustainable development

UVOD

Efikasno sprovođenje sanitarnih procedura u stočarskim objektima je od ključnog značaja za održavanje odgovarajućih higijenskih uslova u staništu domaćih životinja. Ovo smanjuje mikrobnu kontaminaciju i sprečava širenje zaraznih bolesti. U dezinfekciji se najčešće koriste hemijska dezinfekciona sredstva koja sadrže aktivna jedinjenja sa antimikrobnim dejstvom. Trenutno je poznato više od 275 različitih aktivnih supstanci sa antimikrobnom aktivnošću, koje se koriste samostalno ili u različitim kombinacijama. Prema svojim hemijskim svojstvima, oni su klasifikovani u glavne grupe, koje uključuju kiseline, baze, aldehide, alkohole, perokside, bigvanide, kvaternarna amonijumova jedinjenja, itd. (Dezinfekcija 101, 2023). Nakon dezinfekcije, ostaci aktivnih supstanci mogu predstavljati rizik za zdravlje ljudi i životinja i opterećivati životnu sredinu. Pored toga, prisustvo ovih supstanci može doprineti razvoju otpornosti mikroorganizama na pojedine komponente dezinfekcionih sredstava, što smanjuje efikasnost dezinfekcije i povećava povezane rizike.

Nedavno je *voda koja se aktivira plazmom* (PAV) svojom antimikrobnom aktivnošću privukla veliku pažnju istraživača (Gururani i sar., 2021). U skladu sa konceptom Jedno zdravlje, PAV predstavlja obećavajuće sredstvo za dezinfekciju, jer ne sadrži dodata aktivna hemijska jedinjenja, čiji produkti razgradnje mogu ugroziti zdravlje ljudi i životinja i opteretiti životnu sredinu.

TEHNOLOGIJE PLAZME ZA PRIPREMU PLAZMOM AKTIVIRANE HLADNE VODE

PAV je uzrokovan interakcijom hladne plazme sa vodom, što pokreće brojne hemijske reakcije u vodi (Herianto i sar., 2023). Plazma je jonizovani gas koji sadrži slobodne radikale, nabijene čestice, protone i neka druga reaktivna jedinjenja. Naboj plazme je neutralan (Gao i sar., 2022). Postoji nekoliko različitih tehnologija koje omogućavaju tretman vode plazmom i na taj način uspostavljanje metastabilnog stanja vode sa antimikrobnim efektom. Najčešće korišćeni tipovi plazme za pripremu plazmom aktivirane vode (PAV) su: plazma mlaz (plasma jet), plazma sa dielektričnom barijerom (DBD – Dielectric Barrier Discharge) i plazma generisana korona pražnjenjem (Thirumdas i sar., 2018).

FAKTORI ANTIMIKROBNE EFIKASNOSTI SA PLAZMOM AKTIVIRANOM HLADNOM VODOM

U naučnim istraživanjima, PAV se pokazao kao efikasno sredstvo za dezinfekciju, koje svojim delovanjem širokog spektara prevazilazi mnoga tradicionalna dezinfekciona sredstva i tehnologije. Efikasan je protiv raznih mikroorganizama, uključujući bakterije, biofilme, spore, plesni, kvasce, pa čak i neke viruse (Zhao i sar., 2020).

Najvažniji faktori u antimikrobnoj efikasnosti PAV-a su formiranje reaktivnih jedinjenja kiseonika i azota (RONS) (Bourke i sar., 2017; Zhao i sar., 2020; Vang i sar., 2023), nizak pH i visok oksido-redukcioni potencijal (ORP) (Thirumalai i sar., 2018; Ksiang i sar., 2019; Zhou i sar., 2020).

U literaturi se ističu sledeći molekuli kao najvažnije reaktivne vrste kiseonika sa antimikrobnom aktivnošću: hidroksilni radikal ($\bullet\text{OH}$), vodonik peroksid (H_2O_2), ozon (O_3) i superoksidni anjon (O_2^-). Prisustvo reaktivnih vrsta azota najčešće se procenjuje na osnovu sadržaja nitrita jona (NO_2^-) i nitrata (NO_3^-). Dobijeni RONS mogu se klasifikovati u dugovečne i kratkotrajne vrste u PAV prema njihovoj upornosti. Dugotrajni proizvodi uključuju vodonik peroksid, ozon, nitrite i nitrate, čiji se poluživot kreće od nekoliko minuta do nekoliko dana. S druge strane, kratkotrajni proizvodi kao što su hidroksilni radikali, azotni oksid (NO) i peroksinitrit (ONOO^-) su znatno manje uporni, jer se njihov poluživot kreće od nekoliko nanosekundi do nekoliko sekundi (Vong i sar., 2023). Kratak životni vek ovih jedinjenja naglašava potrebu za razvojem sistema za *in situ* primenu PAV-a kako bi se osigurao antimikrobni efekat najšireg mogućeg spektra reaktivnih vrsta (Wong i sar., 2020).

Tačan mehanizam antimikrobne aktivnosti PAV, a samim tim i ukupna uloga pojedinačnih faktora, još uvek nije u potpunosti shvaćen. Trenutno je poznato da su glavni mehanizmi baktericidnog dejstva oštećenje vitalnih ćelijskih struktura usled fizičkih efekata PAV i indukcije oksidativnog stresa u ćelijama. Oksidativni stres izaziva lipidnu peroksidaciju u ćelijskoj membrani (Vang i sar., 2023), što dovodi do depolarizacije membranskog potencijala i posledičnog gubitka njegove funkcije. Neka RONS mogu čak da pređu ćelijsku membranu i akumuliraju se unutar ćelije, gde smanjuju intracelularni pH. To dovodi do oštećenja ključnih ćelijskih struktura, jer dolazi do oksidativnog oštećenja proteina, lipida i DNK (Bourke i sar., 2017; Zhao i sar., 2020).

PROCENA UPOTREBE HLADNE PLAZMA AKTIVIRANE VODE KAO DEZINFEKCIONOG SREDSTVA U STOČARSKIM OBJEKTIMA

Zbog svoje antimikrobne aktivnosti protiv širokog spektra mikroorganizama (Zhao i sar., 2020), PAV takođe ima potencijal da dezinfikuje stočne objekte. Iako je temeljno čišćenje neophodan preduslov za efikasnu dezinfekciju, zaostale nečistoće često predstavljaju izazov prilikom dezinfekcije površina. Potpuno uklanjanje nečistoća unutar stočnih objekata je teško, jer se često isušuju, a pored

toga, stari i porozni materijali koji se nalaze u zgradama omogućavaju im da se zadrže. Ovo stvara povoljne uslove za razvoj mikroorganizama i formiranje bio-filmova koji su posebno otporni na uklanjanje. Nečistoće u stočarskim objektima su uglavnom organskog porekla i uključuju ostatke hrane, stelje, urina, fekalija, pljuvačke i drugih životinjskih sekreta.

Prisustvo nečistoća može smanjiti efikasnost izvršene dezinfekcije (Araújo i sar., 2013; Ksiang i sar., 2019), što je takođe predviđeno standardima za testiranje antimikrobne efikasnosti hemijskih dezinfekcionih sredstava, koji predviđaju da se test sprovodi u kontrolisanim uslovima u prisustvu određenih referentnih materijala koji ilustruju nečistoće prisutne u životnoj sredini kao metode ili zahteve za verifikaciju antimikrobne aktivnosti hemijskih dezinfekcionih sredstava (SIST EN 1276: 2019, 2019).

Izazov efikasnosti antimikrobne aktivnosti PAV u prisustvu organskih supstanci takođe će biti proučavan kao naš rad, što će doprineti boljem razumevanju njegovih ograničenja i mogućnosti za upotrebu kao dezinfekciono sredstvo u stočarskim objektima. Pored procene antimikrobne efikasnosti PAV u praktičnim uslovima, takođe je od ključnog značaja da se prouči njegovo delovanje u prisustvu nečistoća sa stanovišta identifikacije proizvoda koji su rezultat dezinfekcije, kao i da se proceni njihov potencijalni rizik za zdravlje ljudi i životinja i da se identifikuje uticaj dobijenih proizvoda, proizvoda interakcije PAV sa organskim supstancama, na životnu sredinu.

ZAKLJUČAK

PAV ima širok potencijal za upotrebu u raznim oblastima, uključujući dezinfekciju stočarskih objekata. Međutim, za njegovu efikasnu implementaciju potrebno je ispitati ključne izazove i na taj način doprineti većoj praktičnoj korisnosti ovog inovativnog i ekološki prihvatljivijeg dezinfekcionog sredstva. Kao napredno rešenje, PAV podržava implementaciju koncepta „One Health”, koji naglašava neraskidivu vezu između zdravlja ljudi, životinja i životne sredine. Holistički pristup zasnovan na ovom konceptu omogućava bolje razumevanje interakcija i doprinosi poboljšanju zdravlja, blagostanja i opšteg blagostanja svih uključenih.

LITERATURA

1. Araújo, P. A., Lemos, M., Mergulhão, F., Melo, L., & Simões, M. (2013). The influence of interfering substances on the antimicrobial activity of selected quaternary ammonium compounds. *International Journal of Food Science*, 2013, Article 237581. <https://doi.org/10.1155/2013/237581>
2. Bourke, P., Ziuzina, D., Han, L., Cullen, P. J., & Gilmore, B. F. (2017). Microbiological interactions with cold plasma. *Journal of Applied Microbiology*, 123(2), 308–324. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.007>
3. Disinfection 101: Key principles of cleaning and disinfection for animal settings. (2023). Iowa State University, College of Veterinary Medicine, The Center for Food Security & Public Health.
4. Gao, Y., Francis, K., & Zhang, X. (2022). Review on formation of cold plasma activated water (PAW) and the applications in food and agriculture. *Food Research International*, 157, 111246. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111246>

5. Gururani, P., Bhatnagar, P., Bisht, B., Kumar, V., Joshi, N. C., Tomar, M. S., & Pathak, B. (2021). Cold plasma technology: Advanced and sustainable approach for wastewater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 65062–65082. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16741-x>
6. Herianto, S., Arcega, R. D., Hou, C. Y., Chao, H. R., Lee, C. C., Lin, C. M., Mahmudiono, T., & Chen, H. L. (2023). Chemical decontamination of foods using non-thermal plasma activated water. *Science of the Total Environment*, 874, 162235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162235>
7. Slovenski inštitut za standardizacijo. (2019). *SIST EN 1276:2019. Kemična razkužila in anti-septiki – Kvantitativni suspenzijski preskus za vrednotenje baktericidnega delovanja kemičnih razkužil in antiseptikov v živilski in drugih industrijah, gospodinjstvu in javnih ustanovah – Preskusna metoda in zahteve (faza 2, stopnja 1)* (41 str.). Ljubljana.
8. Thirumdas, R., Kothakota, A., Annapure, U., Siliveru, K., Blundell, R., Gatt, R., & Valdramidis, V. P. (2018). Plasma activated water (PAW): Chemistry, physico-chemical properties, applications in food and agriculture. *Food Science & Technology*, 77, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.007>
9. Wang, H., Han, R., Yuan, M., Li, Y., Yu, Z., Cullen, P. J., Du, O., Yang, Y., & Wang, J. (2023). Evaluation of plasma-activated water: Efficacy, stability, physicochemical properties, and mechanism of inactivation against *Escherichia coli*. *LWT – Food Science and Technology*, 184, 114969. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114969>
10. Wong, K. S., Chew, N. S. L., Low, M., & Tan, M. K. (2023). Plasma-activated water: Physicochemical properties, generation techniques, and applications. *Processes*, 11(7), 2213. <https://doi.org/10.3390/pr11072213>
11. Wong, K. S., Lim, W. T. H., Ooi, C. W., Yeo, L. Y., & Tan, M. K. (2020). In situ generation of plasma-activated aerosols via surface acoustic wave nebulization for portable spray-based surface bacterial inactivation. *Lab on a Chip*, 20(10). <https://doi.org/10.1039/D0LC00001A>
12. Xiang, Q., Kang, C., Zhao, D., Niu, L., Liu, X., & Bai, Y. (2019). Influence of organic matters on the inactivation efficacy of plasma-activated water against *E. coli* O157:H7 and *S. aureus*. *Food Control*, 99, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.019>
13. Zhao, Y. M., Patange, A., Sun, D. W., & Tiwari, B. (2020). Plasma-activated water: Physicochemical properties, microbial inactivation mechanisms, factors influencing antimicrobial effectiveness, and applications in the food industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3951–3979. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12644>
14. Zhou, R., Zhou, R., Wang, P., Xian, Y., Mai-Prochnow, A., Lu, X., Cullen, P. J., Ostrikov, K., & Bazaka, K. (2020). Plasma activated water (PAW): Generation, origin of reactive species and biological applications. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(30), 303001. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/ab81cf>