

PREGLEDNI RAD – Review Article

**DILEME SAVREMENE DEZINFEKCIJE: HLOR ILI STABILIZIRANI
TEČNI HLOR DIOKSID**

**CONCERNS OF CONTEMPORARY DISINFECTION: CHLORINE OR
STABILIZED LIQUID SOLUTION OF CHLORINE DIOXIDE**

Gagić A., Selimović Selma, Jukić S., Ališah Ajla, Kustura Aida

Abstract – It is common that experts use routine procedures for disinfection. Every part of the disinfection procedure is routinely done: preparation of the disinfection media, selection of the type of disinfection, protective measures, effect control and environmental issues. This article offers a new insight into the use of stabilized liquid chlorine dioxide as a qualitative alternative disinfectant for wider application by comparing it to the most frequently used chlorine and its compounds. When used in the stabilized liquid form, all limiting properties of the gas form are removed. Once again, the importance of conducting every part of the preparation process prior to disinfection was emphasized.

Key words: disinfection, chlorine, chlorine dioxide, stabilized, oxidants

Sažetak – Nije rijetkost da stručnjaci rutinski pristupaju postupcima izvođenja dezinfekcije. U ovom smislu rutina je sve, od pripreme medija za dezinfekciju, izbora dezinfekcionih sredstava i preduzimanja protektivnih mjera do kontrole efekata i zaštite životne sredine. U radu su, u vidu komparacije sa najčešće korištenim dezinficijensom hlorom, odnosno njegovim jedinjenjima, ponuđene nove informacije o stabiliziranom tečnom hlor dioksidu kao kvalitetnom alternativnom dezinfekcionom sredstvu za široku primjenu. U stabiliziranoj tečnoj formi otklonjeni su svi nedostaci koji su limitirali veću

Dr. sc. Abdulah Gagić, redovni profesor (abdulah.gagic@vfs.unsa.ba), Zavod za zootehniku i peradarstvo, Veterinarski fakultet, Univerzitet u Sarajevu; Selma Selimović, dipl. ing. hemije, ITR d.o.o. za proizvodnju, promet i usluge Sarajevo; Suad Jukić, ITR d.o.o. za proizvodnju, promet i usluge Sarajevo; Ajla Ališah, DVM, stručni saradnik; dr sc. Aida Kustura, docent, Zavod za zootehniku i peradarstvo, Veterinarski fakultet, Univerzitet u Sarajevu

Abdulah Gagić, DVM, PhD, Professor (abdulah.gagic@vfs.unsa.ba), Department for Zootechnics and Poultry, Veterinary Faculty, University Sarajevo; Selma Selimović, Che.E., ITR Ltd.; Suad Jukić, ITR Ltd.; Ajla Ališah, DVM, Research Associate; Aida Kustura, DVM, PhD, Assistant Professor, Department for Zootechnics and Poultry, Veterinary Faculty, University Sarajevo

upotrebu hlor dioksida u gasnoj formi. Naravno, ponovo su potencirani značaj i neophodnost provođenja svih pripremnih faza koje kao sastavni dijelovi trebaju prethoditi svakoj dezinfekciji.

Ključne riječi: dezinfekcija, hlor, hlor dioksid, oksidansi

Uvod

Stvarnost savremenog života u svim njegovim segmentima determinirana je, između ostalog i sve većim rizicima kontakta, odnosno infekcije ili kontaminacije sa potencijalno opasnim mikroorganizmima. Rizici se odnose na sve, kako na ljude i životinje, tako i na proizvode životinjskog porijekla, ali i sve ono što je bitno za živa bića od njihove životne sredine, smještaja, pa do ishrane i napajanja. Držati pod kontrolom populaciju opasnih mikroorganizama jedan je od osnovnih zadataka kompleksnih mjera dezinfekcije, a provoditi ove mjere u stručnoj svakodnevnicu obično i na žalost podrazumijeva često samo jedno – aplikaciju odabranog dezinficijensa na ciljane površine, medije ili druge supstrate. U ovom kontekstu je i činjenica da se dezinfekciji obično pristupa rutinski, pa čak i površno, dok se za sam zahvat formalno traže sve učinkovitija sredstva. Rutinsko izvođenje dezinfekcije najveći je faktor rizika po uspjeh dezinfekcionog zahvata, te jedna od moćnih poluga pokretanja procesa sveprisutne rezistencije mikroorganizama. Ignoriranje činjenice da za uspjeh dezinfekcije, pa i antiseptice, moramo dezinfekciono sredstvo aplicirati na protektivnim materijama nezaštićene mikroorganizme dovodi u pitanje efikasnost mjera.

Uvriježeno je odbijanje istine da je dezinfekcija kompleksan zahvat i da se sastoji od najmanje tri faze. Operativna povezanost sa nekim dezinfekcionim sredstvima je tolika, da pojedini stručnjaci pojam dezinfekcija zamjenjuju s nazivima preparata ili supstanci s kojima se ta mjera provodi. Tako nije rijetko čuti izjavu kako treba izvršiti hlorisanje (kloriranje), a ne dezinfekciju vode. Ili kako treba zapliniti, a ne dezinficirati rasplodna jaja, odnosno farmu, jodirati, a ne dezinficirati operativno područje i tako dalje. Rutinski pristup problemu vodi stručnjake u konzervativizam, pa su na žalost često, upravo oni značajna kočnica uvođenju novih, djelotvornijih sredstava, te unapređenju i povećanju efikasnosti dezinfekcionih i antiseptičkih zahvata u širokom opusu njihovog izvođenja.

Cilj rada je podsjetiti stručnu javnost na činjenicu da je dezinfekcija kompleksna i u provedbenom smislu višefazna mjera, te upozoriti na opasne posljedice rutinskog pristupa u njenoj realizaciji. Također, želimo ponuditi informacije o alternativnom dezinficijensu čija je učinkovitost ista ili veća nego li je to slučaj sa hlorom i njegovim jedinjenjima, uz daleko manje ograničavajuće faktore primjene.

Dezinfekcija i načini izvođenja

Dezinfekcija je složen stručni zahvat kojim se pod efektivnom kontrolom nastoji održati populacija mikroorganizama na ili u određenom mediju, površini ili supstratu. (1, 2, 3, 9). Bez obzira na krajnji ishod koji može rezultirati i potpunom redukcijom mikroorganizama, dezinfekciju je u određenom smislu moguće povezati sa antiseptom, ali se nikako ne smije poistovjetiti sa sterilizacijom čije provođenje radikalnim sredstvima ima za cilj ubijanje svih prisutnih mikroorganizama na ili u određenom mediju, površini ili supstratu. Prilikom izvođenju dezinfekcije koriste se različita sredstva čija primjena rezultira dezinfekcionim učinkom. Imajući u vidu razloge korištenja, ova se sredstva nazivaju dezinficijensi, a uobičajeno je da se dijele na dvije grupe – fizikalni i hemijski. Pojedina sredstva, zavisno od koncentracije, načina aplikacije, dužine ekspozicije, karakteristika dezinfekcionih područja i stepena njihove kontaminacije, mogu postići i dezinfekcijski i antiseptički i sterilizacijski učinak. Kako je već ranije navedeno dezinfekcija je složen stručni zahvat i nikako se ne smije poistovjetiti samo sa aplikacijom dezinficijensa. Bez obzira na vrstu, a stručno i zakonski gledano postoje tri – profilaktička, tekuća i završna, svakoj dezinfekciji kao njeni sastavni dijelovi u procesu realizacije trebaju da prethode mehaničko čišćenje i mehaničko pranje, te sanitarno pranje medija površina ili supstrata koji će biti dezinficirani. Ove predradnje, kao preduvjeti i funkcionalne sastavnice, ne smiju biti preskočene u postupku izvođenja dezinfekcije. Mogu i to samo zavisno od stepena mikrobiološke i organske kontaminacije dezinfekcionog područja, biti izvršene u manjem ili većem obimu.

Mehaničko čišćenje i mehaničko pranje

Mehaničko čišćenje prethodi dezinfekciji i preduvjet je za njenu realizaciju. (1, 2, 3, 9, 10). Ovo se posebno odnosi na dezinfekciju svih površina i nekih medija kao što je na primjer tlo. Provodi se različitim mehaničkim sredstvima i vodom radi uklanjanja vidljivih naslaga anorganskih i organskih nečistoća. Za realizaciju nije potrebno stručno znanje, ali je neophodan stručni nadzor. Može se smatrati da je mehaničko čišćenje uspješno obavljeno samo kada su uklonjene sve vidljive nečistoće i kada je izvršeno ispiranje očišćenih površina. U postupku ispiranja može biti korištena nezagrijana tehnološka voda. Osobe koje izvode mehaničko čišćenje i mehaničko pranje moraju biti zaštićene od eventualnog povređivanja ili unosa patogena i drugih štetnih materija, odnosno moraju koristiti zaštitnu opremu koja će spriječiti moguće povrede ili infekcije kože i ostalih dijelova tijela, a posebno respiratornog i digestivnog trakta. Prikupljene nečistoće i otpadna voda kao zdravstveno i ekološki rizičan organski otpadni materijal moraju biti zbrinute na odgovarajući, higijenski prihvatljiv način. U protivnom mogu postati veoma ozbiljan izvor infekcija ljudi i životinja, te izvor kontaminacije drugih medija, površina ili supstrata. Korektnim izvođenjem mehaničkog čišćenja i mehaničkog pranja značajno se reducira, za više od 90%, prisustvo organskih kontaminanata, a samim

tim i mikroorganizama na ciljnim područjima dezinfekcije. Osim toga, nedostatak organske materije kao njihovog najvećeg protektora u vanjskoj sredini, rezultira činjenicom da je većina preostalih mikroorganizama nezaštićena ili su sa mnogo slabijom zaštitom, te da su značajno povećani izgledi za uspješnu realizaciju sanitarnog pranja kao narednog koraka u procesu izvođenja dezinfekcije.

Sanitarno pranje

Za razliku od mehaničkog, sanitarno pranje kao naredni korak u provođenju dezinfekcije izvodi se vrućom vodom (50 do 80 °C) pod pritiskom (2 do 3 bara) u koju treba dodati deterdžentna sredstva radi razbijanja masnih nakupina. (1, 2, 3, 9, 10). Otprilike sat vremena nakon prvog pranja treba izvršiti ispiranje dezinfekcionog područja. Ovaj put to se vrši samo vrućom vodom pod pritiskom kako bi se sa preostalim kontaminantima isprala i deterdžentna sredstva. U suprotnom, njihove rezidue mogu uzrokovati slabije djelovanje dezinficijensa. U situacijama kada je to moguće dobro je izvršiti mikrobiološku kontrolu sanitarno tretiranih površina, a same površine treba uvesti u fazu biološkog “odmora”. Odmor je potreban, posebno u stočarskim objektima kako bi se osigurala dodatna redukcija preostalih mikroorganizama. Ovaj se efekat prije svega postiže djelovanjem fizikalnih faktora vanjske sredine kao što su sunčevo zračenje, temperatura i vlažnost zraka, atmosferski pritisak i drugi. Prilikom izvođenja sanitarnog pranja treba osigurati stručni nadzor i sve mjere aktivne i pasivne zaštite operatora, a otpadne vode moraju biti zbrinute na odgovarajući, higijenski prihvatljiv način. Uspješno izvedenim sanitarnim pranjem otklanjaju se prvenstveno masnoće koje unutar struktura organske materije pokazuju najveću protektivnu moć prema mikroorganizmima. Redukcija preostalih mikroorganizama iznosi preko 95%, a područje dezinfekcije je tek tada u potpunosti pripremljeno za naredni korak – aplikaciju dezinficijensa. Sanitarno pranje prije aplikacije dezinficijensa je ultimativan zahvat na kritičnim površinama primarne i finalne stočarske proizvodnje, ali i svim drugim površinama, predmetima, priboru i opremi sa kojima na bilo koji način u kontakt dolaze ljudi ili životinje. Modificiran postupak ovog pranja obavezan je u antisepsi. Iz iskustva znamo da su komercijalni preparati po principu 2 u 1 ili 3 u 1 potencijalno velika opasnost za kvalitetno provođenje sanitarnog pranja, ali i efekte same dezinfekcije. Njihovo korištenje prečutno podrazumijeva preskakanje faze sanitarnog pranja koja se tako neopravdano integrira u fazu aplikacije dezinficijensa. Nije rijetkost da takav stav kod izvođača u efektivnom smislu rezultira svojevrsnom, higijenski slabo djelotvornom bastardizacijom čitavog procesa izvođenja dezinfekcije, bez obzira kakav bio pojedinačni kvalitet svake aktivne komponente unutar komercijalnog preparata. Stoga su odabir, priprema i aplikacija dezinficijensa, kao i sve odluke vezane za njih stručni poslovi, a provesti ih mogu samo operatori koji su educirani na odgovarajući način.

Hlor i njegova jedinjenja u dezinfekciji

Upotreba hlora i njegovih jedinjenja izuzetno je raširena u savremenoj praksi izvođenja dezinfekcionih zahvata. Sa njima se dezinficiraju zrak, tlo, voda u skoro svim namjenama korištenja – od vode za piće do bazenskih voda, kontaminaciji izložene površine stambenih, stočarskih i proizvodnih objekata, tehnološka oprema, ambalaža za proizvode, radna obuća i odjeća, a koriste se i kao antiseptička sredstva pri dezinfekciji ruku na primjer. Hlor pripada grupi halogenih elemenata, a dezinfekcijski učinak ostvaruje veoma izraženom sposobnošću pokretanja i aktivnog učešća u procesima oksidacije. U standardnim uvjetima nadmorske visine, temperature zraka i atmosferskog pritiska (0 metara, 0 °C i 1032 mb) hlor je iritirajuće do smrtonosno zagušljiv gas koji se, zbog činjenice da je više od 2 puta teži od atmosferskog zraka, zadržava u njegovim niskim slojevima – pri tlu ili pri podnim površinama u objektima. Pri temperaturi zraka od 0 °C i povišenom pritisku od 3,7 bara prelazi u tečno stanje. Iz jednog litra tečnog hlora oslobodi se oko 463 litra gasa (1, 2, 18). Hlor se rastvara u vodi, ali i hemijski vezuje za nju ili materije koje sadržava. Pri standardnim uvjetima vanjske sredine u 100 litara vode rastvori se 400 litara gasnog hlora, dok se pri temperaturi zraka od 20 °C u istoj količini vode rastvara samo 220 litara gasa. Mješavina vode i hlora naziva se hlorna voda. U vodi rastvoreni hlor je veoma potentno dezinfekciono sredstvo, pa ako se danas i koristi u gasnom stanju onda je to isključivo u svrhu dezinfekcije vode (1, 2). Veliki nedostatak korištenja molekularnog hlora u gasnom stanju je visok rizik primjene, čak i po život, kojem su izloženi operatori i u tom kontekstu izuzetno zahtjevne mjere lične i okolinske zaštite. Stoga su danas u upotrebi brojna jedinjenja hlora, obično u formi dobro topivih prašaka iz kojih se on kao aktivna komponenta koristi u svrhu dezinfekcije (1, 2, 17, 22, 23, 25). Dominiraju dvije grupe ovih jedinjenja – hipohloriti i hloramini. Hipohloriti nastaju dodavanjem molekularnog hlora u obični kreč pri čemu nastaje hlorni kreč. Rastvaranjem u vodi hlorni kreč se razlaže na neaktivni kalcijum hlorid i aktivnu hipohlorastu kiselinu. Hlorni kreč je prilično nestabilno jedinjenje, pa na tržištu dominira njegova stabilizirana varijanta kaporit. Za razliku od 25 – 30% aktivnog hlora koliko sadržava hlorni kreč, kaporit ima do 70% aktivne supstance i uz to je znatno stabilniji u vodenim rastvorima. Hloramini mogu biti jednostavna anorganska ili složena organska jedinjenja. Jednostavni hloramini nastaju hemijskom reakcijom hlora i amonijaka pri kojoj se, zavisno od pH i količine azota javljaju različiti derivati. Sadržavaju između 15% i 30% aktivnog hlora, a na tržištu se pojavljuju pod različitim komercijalnim imenima koja u osnovi obično sadržavaju naziv Chloramin. Nasuprot njima su složeni, organski hloramini. To su jedinjenja koja po sadržaju karakteriziraju visoki procenti aktivnog hlora. U ovom smislu treba izdvojiti organske kiseline kao što je trihlorizocijanurna kiselina sa 90% aktivnog hlora, odnosno njihove soli kao što je natrijev dihloroizocijanurat, koji predstavljaju aktivne supstance savremenih i široko korištenih dezinfekcionih sredstava (2, 17, 25, 26).

Osnova dobrog dezinfekcionog učinka hlora i njegovih jedinjenja nalazi se u ekstremno izraženoj hemijskoj reaktivnosti i u skladu s tim izuzetnom potencijalu

oksidacije. U središtu su svakako hipohlorasta kiselina koja nastaje hidrolizom hlornih preparata u vodenim rastvorima, zatim elektronski oksidacioni potencijal elementarnog hlora, te kompleksnost njegovih jedinjenja kao što su hloramini koji su sposobni stupati u direktne reakcije sa organskim strukturama mikroorganizama, prije svega sa proteinima, odnosno jedinjenjima koja sadrže azot. Reaktivni su i u kontaktu sa anorganskim strukturama kao što su sulfidi, tiosulfati, soli metala i slično. U prisustvu velikih količina organske materije i pri djelovanju u ekstremno kiselom ili baznom mediju, ovako izražena reaktivnost može reducirati ukupni dezinfekcioni učinak hlora i njegovih jedinjenja, uz generiranje potencijalno ili stvarno veoma štetnih nusprodukata. U kontaktu sa metalima, posebno željezom, hlor i njegova jedinjenja pokazuju izraženo korozivno dejstvo, dok kontakt sa prehrambenim namirnicama, pored rezidua, ostavlja karakterističan neugodan miris i okus na hlor (1, 2, 3, 17).

Oksidansi kao dezinfekciona sredstva

Nije uopšte sporno da hlor i njegova jedinjenja postižu dobar dezinfekcioni učinak zahvaljujući i činjenici da ispoljavaju jak oksidacioni potencijal, prvenstveno putem veoma reaktivnog kisika koji se oslobađa iz hipohloraste kiseline (1, 2, 18). Međutim, uvriježena je praksa da se hlor svrstava u grupu halogenih dezinficijensa, dok se pod oksidacionim dezinfekcionim sredstvima podrazumijevaju prvenstveno kisik u nestabilnom molekularnom ili atomskom stanju, kao i sva druga jedinjenja u kojima je u suvišku prisutan reaktivni atom kisika, ili se ovaj gas relativno jednostavno otpušta iz njih. Reprezentant oksidacionih dezinficijensa sa potencijalno velikim sterilizacijskim učinkom je ozon (O_3). Nastaje u gornjim slojevima atmosfere uvođenjem trećeg atoma kisika u inače stabilnu dvoatomsku molekulu ovoga gasa. Proces se odvija zahvaljujući energetskom potencijalu dalekih i ekstremnih ultravioletnih zraka, koje tom prilikom bivaju apsorbirane i neutralizirane u "ozonskom štitu" atmosfere. Oslobađa se i prilikom električnog pražnjenja, posebno struja visokog napona (1, 2, 8, 18). Na sobnoj temperaturi ozon je svijetlo plavi gas oštrog mirisa sličnog onom kojeg osjećamo u atmosferskom zraku nakon jake grmljavine praćene pojavom munja ili prilikom rada starih električnih aparata. Ovaj miris neki poistovjećuju sa mirisom svježeg opranog veša. Kondenzira na $-112\text{ }^\circ\text{C}$ u tamno plavu tečnost, a tačka smrzavanja je na $-193\text{ }^\circ\text{C}$ (2, 14, 18, 22, 23, 24, 25). Ima relativno kratko vrijeme poluraspada od oko 20 minuta tokom kojeg oslobađa stabilnu dvoatomsku molekulu i slobodni, reaktivni atom kisika. Ozon stupa u reakciju sa svim tipovima organskih jedinjenja formirajući slobodne radikale, hidroperokside i polimerne perokside različitih struktura. Kod mikroorganizama se posljedice djelovanja manifestiraju u vidu jakih bioloških oštećenja koja se uglavnom završavaju kidanjem hromozoma. Ovakav mehanizam djelovanja razlikuje se od onog kod hlora koji difuzijom prodire u ćelije mikroorganizama i primarno stupa u reakcije sa citoplazmatskim enzimima (18, 22, 24). Ozon osigurava širok spektar aplikacija. Kod dezinfekcije vode uklanja bakterije, viruse, gljivice i parazite. Primjenjuje se i za

oksidaciju anorganskih materija u vodi kao što su željezo, mangan, arsen, nitriti i sulfidi. Oksidira organske materije i na taj način uklanja neugodan miris, okus i boju vode. Također oksidira i ciklične ugljikovodike, trihalometane, hloramine i ostale derivate hlora. Nakon oksidacije s ozonom, jedinjenja i koloidi otopljeni u vodi postaju netopivi i mogu se odfiltrirati. Budući da je ozon visoko reaktivan, proizvodi se na licu mjesta i odmah, bez skladištenja, dozira u vodu, zrak ili supstrate koji se dezinficiraju, odnosno steriliziraju. Za razliku od ostalih sredstava za dezinfekciju i oksidaciju, prednost korišćenja ozona je izostanak opasnih, posebno ekološki opterećujućih nusprodukata (2, 18, 24, 25).

Hlor dioksid (ClO_2) je gas blago iritirajućeg mirisa. Pri temperaturi od $11\text{ }^\circ\text{C}$ je žuta do žuto-crvena tečnost, a pri $-59\text{ }^\circ\text{C}$ prelazi u čvrsto stanje. Razgradnja na sastavne komponente počinje pri temperaturi od $30\text{ }^\circ\text{C}$, dok je na oko $50\text{ }^\circ\text{C}$ veoma eksplozivan. Koncentracije u zraku između 4% i 20% uzrokuju praskanje, pa se ovaj gas naziva još i praskavac. Nestabilan je pod uticajem svjetlosti, posebno u vodenim rastvorima kada producira hipohlorastu i hlornu kiselinu, te molekularni kisik. Zbog nestabilnosti se priprema na mjestu upotrebe elektrolizom ili hemijski spajanjem natrijevog hlorida i sulfaminske kiseline (2, 22, 28). Snažan je dezinficijens, selektivni oksidans i biocid širokog spektra koji u odnosu na hlor ima daleko bolja dezinfekciona svojstva. Teoretski ima 2,5 puta veći oksido-redukcijski potencijal u odnosu na hlor i može razgraditi organska jedinjenja, ali i neutralizirati viruse koje hlor ne može. Jako je topiv u vodi, ali za razliku od hlora s njom ne reagira. U vodenoj otopini egzistira kao rastvoreni gas. Pri jednakim koncentracijama, sposobnost hlor dioksida da razgradi spore i viruse je veća nego hlora, pa se u SAD koristio u više navrata prilikom tretmana objekata kontaminiranih sporama antraksa (2, 12, 22, 27, 28). Pored veoma širokog spektra primjene, utvrđeno je da je hlor dioksid jedno od najučinkovitijih sredstava za razaranje i sprečavanje ponovnog nastanka biofilma (4, 15, 21). Biofilm je polisaharidna organska formacija, svojevrsan premaz na organskoj ili anorganskoj podlozi, koji štiti mikroorganizme od isušivanja, otplavlivanja ili negativnog djelovanja vode. Višestruko povećana otpornost bakterija u biofilmu čini ih sposobnim za preživljavanje u najtežim uvjetima, pa tako prežive djelovanje brojnih dezinficijensa, uključujući i hlor, odnosno njegova jedinjenja (4, 15, 16, 21). Osobinu visoko selektivnog oksidansa hlor dioksid ima zahvaljujući jedinstvenom mehanizmu djelovanja – transferu jednog elektrona koji u organskoj molekuli “napada” centre bogate elektronima. U tom se procesu reducira na hloritni jon. Prema drugim autorima hlor dioksid prodire kroz ćelijski zid i slično hloru reagira s aminokiselinama citoplazme. Takođe se navodi da mikrobiocidni efekat, slično ozonu, ispoljava djelovanjem na proteine ćelijske membrane što je opet rezultat njegovog oksidativnog potencijala (2, 6, 7, 12, 13, 20, 22, 23). Budući da primarno oksidira, a ne hlorinira, primjena hlor dioksida ne rezultira produkcijom hloriniranih organskih nusprodukata halokiselina, trihalometana, furana, dioksina. Takođe, ne utiče na produkciju značajnijih količina aldehida, ketona, keto kiseline, ili drugih problematičnih nus produkata povezanih s oksidacijom organske materije nekim drugim manje selektivnim sredstvima (2, 12, 22, 23, 25, 28). Na njegovu aktivnost ne utječe porast pH

vrijednosti, a za razliku od hlora ne reagira s amonijakom zbog čega primjena ne rezultira nastankom hloramina (2, 12, 25). Hemijsko djelovanje hlor dioksida u vodi rezultira neutralizacijom cijanida, sulfata, aldehida, fenola i merkaptana. Zbog ovoga njegova primjena u veoma kontaminiranim vodama rezultira poboljšanjem mirisa, pa i okusa vode. Relativno dugo zadržavanje u vodi u vidu rezidua čini da voda u cijevima i različitim spremnicima duži vremenski period ostaje zaštićena od naknadne mikrobiološke, pa i hemijske kontaminacije (4, 11, 25).

Stabilizirani tečni hlor dioksid

Najveći problem u dosadašnjoj praksi korištenja hlor dioksida kao sredstva za široku primjenu u postupcima dezinfekcije predstavljala je činjenica da se koristi u gasovitom stanju, te da za njegovu pripremu treba na licu mjesta sjediniti odgovarajuće, potencijalno opasne komponente. Postupak je povezan sa velikim rizicima po operatore i po efekte dezinfekcije, obzirom da je oslobođeni hlor dioksid nestabilan, ali i smrtonosno eksplozivan (2, 22). Sulfaminska kiselina, kao i dobijeni tečni hlor dioksid moraju se skladištiti i transportirati pod posebnim uvjetima. Operatori takođe moraju preduzimati posebne mjere lične i okolinske zaštite. Unazad nekoliko godina u Njemačkoj je razvijen postupak proizvodnje stabilizirane, koncentrirane vodene otopine hlor dioksida čiji transport, skladištenje i upotreba ne podrazumijevaju posebne pripreme, niti posebne mjere opreza i zaštite. Riječ je o koncentriranom tečnom sredstvu na bazi hlor dioksida koje je moguće koristiti za dezinfekciju u širokoj paleti primjene – od zdravstva i veterinarstva do prehrambene industrije, ugostiteljstva, ali i u domaćinstvu. U ovom obliku hlor dioksid je veoma jednostavan za primjenu u svim vidovima sanitacije vode, kako vode za piće, tako bazenskih voda i posebno otpadnih voda. Stabilizirani hlor dioksid je tekućina žute boje sa mirisom na hlor. Pri temperaturi od 20 °C ima gustoću od 1g/cm³ i pH 7. Ne sadržava aldehide i ne pjenu (27). Kao i gasoviti hlor dioksid ima širok, cidni spektar djelovanja na sve vrste mikroorganizama, pa se može reći da je baktericidan, uključujući i sporogene bakterije, virucidan, fungicidan i algicidan. Dobro djeluje u malim koncentracijama unutar širokog spektra pH vrijednosti od 1,5 do 10 i unutar širokog temperaturnog raspona od 10 °C do 40 °C. Nakon primjene na radnim površinama u prehrambenoj i mljekarskoj industriji nije potrebno vršiti ispiranje obzirom da, osim zanemarljivih količina hlorida, ne ostavlja rezidue, niti mjenja miris i okus namirnica (12, 27, 28). Uz eliminiranje ograničavajućih determinanti za korištenje u gasovitoj formi, stabilizirana otopina hlor dioksida zadržava sve efektivne karakteristike gasovite forme ovog dezinficijensa, te uz to, a na osnovu pozitivnih rezultata brojnih pokusa u stomatologiji, pokazuje i veoma dobra antiseptička svojstva (5, 6, 7, 13, 19, 20).

Kriteriji za izbor i ocjenu dezinfekcionog sredstva

Odavno su poznate karakteristike koje u svrhu aplikativnosti trebaju posjedovati hemijska dezinfekciona sredstva (1, 2, 24, 28). Osim izraženog mikrobiostatskog ili mikrobiocidnog učinka na patogene mikroorganizme, ova sredstva moraju biti dobro topiva u vodi, ili relativno jednostavno raspoloživa za djelovanje u vodenim rastvorima. Pored toga, moraju biti stabilna kako prije primjene, tako i u obliku za primjenu, moraju biti lahko primjenjiva u različitim okolnostima upotrebe, te uz to ne smiju biti toksična i ekološki opterećujuća. Uz navedeno, a za korištenje u prehrambenoj industriji, dezinfekciona sredstva ne smiju izazvati niti uticati na poprmanje ili promjenu okusa i mirisa namirnica, te ne smiju iskazivati korozivni učinak na opremu. Imajući na umu navedene karakteristike relativno je jednostavno definirati kriterije za izbor ili vrednovanje pojedinih dezinficijensa (1, 2, 3). Najvažniji kriteriji, kao i pozicije hlora, hlor dioksida i stabiliziranog tečnog hlor dioksida u odnosu prema njima, a na osnovu dosadašnjih saznanja u primjeni ovih dezinfekcionih sredstava prikazani su u tabeli 1.(1, 2, 3, 6, 7, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 22, 24, 25, 26, 27, 28).

Tabela 1. Najvažniji kriteriji za izbor i ocjenu dezinfekcionih sredstava, te pozicije hlora, hlor dioksida i stabiliziranog tečnog hlor dioksida u odnosu na njih

Table 1. The most important criteria for the selection and evaluation of disinfectants and positions of chlorine, chlorine dioxide and stabilized liquid chlorine dioxide over them

Kriterij	Hlor	Gasoviti ClO₂	Stabilizirani tečni ClO₂
Spektar djelovanja	Širok	Veoma širok	Veoma širok
Način primjene	Relativno jednostavan	Kompliciran	Veoma jednostavan
Toksičnost po živo tkivo (koža, sluznice)	Potencijalno velika	Potencijalno velika	Veoma mala
Oblici upotrebe	Vodena otopina	Vodeni rastvor	Vodeni rastvor
Djelotvorna koncentracija	Relativno niska	Veoma niska	Veoma niska
Odnos prema proteinima	Veliki afinitet	Mali afinitet	Mali afinitet
Odnos prema mastima	Mali afinitet	Mali afinitet	Mali afinitet
Vrijeme učinka	Kratko	Kratko	Kratko
Odnos prema temperaturi i pH sredine	Jako ovisan	Slabo ovisan	Slabo ovisan
Stabilnost	Relativno stabilan	Jako nestabilan	Stabilan
Korozivni učinak	Izražen	Slabo izražen	Nije izražen
Štetne rezidue	Trihalometani, furani, dioksin	Hloridi	Hloridi
Ekološka tolerancija	Mala	Veoma velika	Veoma velika
Zdravstveni rizici	Relativno veliki	Veoma veliki	Veoma mali
Ekonomičnost primjene	Velika	Mala	Veoma velika

U odnosu na hlor i njegova jedinjenja, a posebno u odnosu na vlastitu gasovitu formu, stabilizirani tečni hlor dioksid karakteriziraju veoma širok spektar djelovanja, veoma jednostavan način primjene i veoma mala toksičnost po živo tkivo. Kao i u gasovitoj formi, djeluje u nižim koncentracijama nego li je to slučaj sa hlorom i njegovim jedinjenjima, pokazujući istovremeno, a u odnosu na njih, slabiji afinitet prema proteinima kao potencijalnim faktorima redukcije dezinfekcionog učinka. U poređenju sa hlorom, stabilizirani tečni hlor dioksid bolje djeluje u malim koncentracijama unutar širokog spektra pH i temperaturnih vrijednosti. Izostanak štetnih rezidua koje se generiraju nakon upotrebe hlora i njegovih jedinjenja čine ga ekološki prihvatljivim dezinfekcionim sredstvom sa veoma malim rizicima primjene, bilo da se radi o zdravstvenim rizicima po ljude i životinje, ili rizicima po kvalitet vode, odnosno namirnica sa kojima dolazi u kontakt. Naravno, nije zanemariva ni veća ekonomičnost primjene, čime se uz sve navedeno stabilizirani tečni hlor dioksid nesporno nameće kao dezinfekciono sredstvo izbora u svim situacijama u kojima su ranije korišteni ili se još uvijek koriste hlor, odnosno njegova jedinjenja.

Zaključci

1. Aplikacija bilo kojeg dezinficijensa, bez obzira na njegov kvalitet, kojoj nisu prethodile faze mehaničke i sanitarne pripreme, što se posebno odnosi na površine koje treba dezinficirati, može biti svrstana u područje stručne greške i preduvjet je slabom ili potpunom izostanku očekivanog dezinfekcionog učinka.
2. U stabiliziranoj tečnoj formi hlor dioksida otklonjeni su svi nedostaci koji su limitirali njegovu primjenu u gasnoj formi, čime su ostvarene pretpostavke za široku upotrebu ovoga izuzetno dobrog dezinfekcionog sredstva.
3. Kao dezinficijens stabilizirani tečni hlor dioksid je sredstvo izbora za učinkovitu, neškodljivu, te ekološki i ekonomski prihvatljivu dezinfekciju različitih medija u primarnoj stočarskoj proizvodnji i finalizaciji animalnih proizvoda.
4. U odnosu na hlor i njegova jedinjenja, upotreba stabiliziranog tečnog hlor dioksida moguća je u sva tri vida dezinfekcije – profilaktička, tekuća i završna i uz mnogo širi spektar primjene koji uključuje djelovanje na sporulirajuće bakterije kao što je *B. antracis*, te na alge.
5. Pri poređenju sa hlorom i njegovim jedinjenjima, stabilizirani tečni hlor dioksid je u manjim koncentracijama efikasniji unutar širokog spektra pH i temperaturnih vrijednosti medija, pri čemu se za razliku od hlora, njegovim djelovanjem ne oslobađaju štetni nus produkti kao što su trihalometani, furani, hloramini i dioksin.
6. Hlor dioksid ne utiče na produkciju značajnijih količina aldehida, ketona, keto kiselina, ili drugih problematičnih nus produkata povezanih s oksidacijom organske materije, a hemijskim djelovanjem u vodi neutralizira cijanide, sulfate, nitrite, aldehide, fenole i merkaptan.

Zahvala

Autori zahvaljuju Mladenu Hlubni, bibliotekaru Veterinarskog fakulteta na pomoći u prikupljanju literature i tehničkoj obradi rada.

LITERATURA

1. Asaj A.: Zoohigijena u praksi, Školska knjiga, Zagreb, 1974.
2. Asaj A.: Dezinfekcija, Medicinska naklada, Zagreb, 2000.
3. Asaj A.: Higijena na farmi i u okolišu, Zagreb, 2003.
4. Coetser S.E., Cloete T.E. Biofouling and biocorrosion in industrial water systems. *Crit. Rev. Microbiol.* 31, 213-232, 2005.
5. Donlan R.M., Costerton J.W. Biofilms: survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. *Clin. Microbiol. Rev.*, 15, 167-193. 2002.
6. Drake D., Villhauer A.L.: An in vitro comparative study determining bactericidal activity of stabilized chlorine dioxide and other oral rinses., *J. Clin. Dent.* 22(1), 1-5, 2011.
7. Frascella J., Gilbert R., Fernandez P.: Odor reduction potential of a chlorine dioxide mouthrinse, *J. Clin. Dent.*, 9(2), 39-42, 1998.
8. Gagić A.: Uticaj filtracije vazduha i njegovog tretmana ultravioletnim zracima u objektu za kavezni uzgoj, na rezultate uzgoja pilenki smeđih i bijelih hibrida nesilica, Doktorska disertacija, Veterinarski fakultet, Sarajevo, 1988.
9. Gagić A.: Zoohigijenski aspekti borbe protiv BSE, slinavke i šapa, bruceloze i Q - groznice. *Veterinaria*, 49, 1-2, 197-209, 2000.
10. Gagić A.: Animalni otpad u Bosni i Hercegovini – značaj, porijeklo i kategorije, Naučno-stručni skup sa međunarodnim sudjelovanjem ANUBiH, Zbornik radova, 21, 41-63, Sarajevo, 2012.
11. Gilbert G., Rosenblatt A. A.: Chlorine Dioxide: The Current State of the Art, *Science and Engineering*, 27: 203–207, 2003.
12. Molitor H.D., Fischer M.: Wasserdesinfektion mit Chlordioxid, Forschungsanstalt, Geisenheim, 2013.
13. Kimoto K., Hamada N., Ohno M., Furuya M., Kushida M., Usui S., Toda S., Kawamura K., Okudera H., Hirata Y., Umemoto T., Arakawa H.: Study on the bactericidal effects of chlorine dioxide gas. *Bull. Kanagawa Dent. College*, 32, 77–82, 2004.
14. Kustura Aida: Efekti sanitarnih tretmana rasplodnih jaja i inkubatorskog zraka na rezultate inkubacije kokošijih jaja, Magistarski rad, Veterinarski fakultet, Sarajevo, 2000.
15. Marić S., Vraneš J. Characteristics and significance of microbial biofilm formation. *Period. Biolog.* 109, 115-121, 2007.

16. Olson M.E., Ceri H., Morck D.W., Buret A.G., Read R.R.. Biofilm bacteria: formation and comparative susceptibility to antibiotics. *Can. J. Vet. Res.* 66, 86-92, 2002.
17. Plavšić F. Klor posvuda, Hrvatski zavod za toksikologiju i antidoping, Zagreb 1997 - 2011.
18. Pryor F. R. Free radicals in Biochemistry, London, 1976.
19. Shinada K., Ueno M., Konishi C., Takehara S., Yokoyama S., Kawaguchi Y. A randomized double blind crossover placebo-controlled clinical trial to assess the effects of a mouthwash containing chlorine dioxide on oral malodor., *Trials.*, 9(9),71-86, 2008.
20. Shinada K., Ueno M., Konishi C., Takehara S., Yokoyama S., Zaitu T., Ohnuki M., Wright F.A., Kawaguchi Y. Effects of a mouthwash with chlorine dioxide on oral malodor and salivary bacteria: a randomized placebo-controlled 7-day trial., *Trials.*, 12(11), 14-24, 2010.
21. Vraneš J, Leskovar V. Značenje nastanka mikrobnog biofilma u patogenezi i liječenju kroničnih infekcija *Med Glasnik*, 6, 2, 147-165, 2009.
22. Wallhauser K.H.: Sterilisation – desinfektion – konservierung, G.Thieme Verlag, Stuttgart, 1978.
23. Watkins . Sanitation of drinking water lines in farms, Aviagen, 2007.
24. Whistler P. E., B. W. Sheldon: Biocidal Activity of Ozone Versus Formaldehyde Against Poultry Pathogens Inoculated in a Prototype Setter, *Poult. Sci.*, Vol. 68, 8, 1068 – 1073, 1989.
25. ---: <http://www.cwg.hr> Clean Water Group
26. ---: <http://www.plivazdravlje.hr> Izosan[®]G granulat, dezinficijens za opću sanitaciju i dezinfekciju vode
27. ---: Tehnički list za *Dioxy Activ Supra* Koncentrat
28. ---: U.S. Environmental Protection Agency Washington, CHLORINE DIOXIDE AND CHLORITE (CAS Nos. 10049-04-4 and 7758-19-2), In Support of Summary Information on the Integrated Risk Information System (IRIS), September, 2000.

Uredništvo primilo rukopis: 06.11.2013.