

**A classic disinfectant
reimagined: The role of
stabilized hypochlorous
acid (HOCl)
in modern hygiene**

Á. Jerzsele^{1,2}

Á. Kerek^{1,2*}

L. Kovács^{2,3}

L. Könyves^{2,3}

P. Sótónyi^{2,4}

1. Gyógyszertani
és Méregtani Tanszék,
Állatorvostudományi Egyetem,
H-1078 Budapest, István u. 2.

2. Fertőző Állatbetegségek,
Antimikrobiális Rezisztencia,
Állatorvosi Közegészségügy
és Élelmiszerlánc-biztonság
Nemzeti Laboratórium,
Állatorvostudományi Egyetem,
Budapest

3. Állathigiéniai, Állomány-
egészségtani Tanszék
és Mobilklinika, Állatorvos-
tudományi Egyetem,
Budapest

4. Anatómiai és Szövettani
Tanszék, Állatorvostudományi
Egyetem, Budapest

*e-mail: kerek.adam@univet.hu

Régi szer új köntösben: a stabilizált hipoklórossav (HOCl) szerepe a fertőtlenítésben

**Jerzsele Ákos^{1,2}, Kerek Ádám^{1,2*}, Kovács László^{2,3}, Könyves László^{2,3},
Sótónyi Péter^{2,4}**

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők irodalmi összefoglalójukban bemutatják a stabilizált hipoklórossav (HOCl) gyakorlati alkalmazhatóságát és hatékonyságát az állatgyógyászatban. Az áttekintés kitér Gram-pozitív és Gram-negatív baktériumokra (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) és nagy ragályozóképességű vírusokra (afrikai sertéspestis vírusa, ragadós száj- és körömfájás vírusa, madárinfluenza-vírus). A szakirodalmi adatok szerint már 50–200 ppm koncentrációban is jelentősen csökkenti a baktériumok csíraszámát és a vírustitert. Az eredmények alapján meghatározott protokollok mellett a stabilizált HOCl jól alkalmazható állattartó telepek időszakos preventív, ill. végfertőtlenítésére.

SUMMARY

Background: The growing threat due to antimicrobial resistance and the emergence of novel pathogens underscore the urgent need for effective, safe and environmentally friendly disinfectants. The stabilized hypochlorous acid (HOCl) is a naturally occurring compound too, produced for example by the activated neutrophil granulo-cytes. As such it has recently gained attention for its broad-spectrum antimicrobial potential and low toxicity.

Objectives: The aim of this study was to evaluate the in vitro antimicrobial efficacy of the stabilized hypochlorous acid solution produced by electrochemical activation. The literature research focused on assessing its bactericidal effect and efficacy against selected Gram-positive and Gram-negative bacterial species and its ability to reduce the infective titer of certain viruses of animal health importance. In this review, the chemical stability and shelf-life data of this compound are also addressed.

Materials and Methods: This study is based on a comprehensive literature analysis. Peer-reviewed articles, regulatory reports, and experimental data from international sources were reviewed to assess the virucidal (African swine fever, foot and mouth disease and avian influenza viruses) and bactericidal (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*) efficacy of stabilized HOCl. The review covers the physicochemical characteristics of HOCl, the effect of pH and ion content on stability, and application methods in agricultural and clinical settings.

Results and Discussion: Stabilized HOCl exhibits high efficacy against both Gram-positive and Gram-negative bacteria by targeting cell membranes, DNA, and enzymatic pathways via oxidative stress. The virucidal activity of HOCl has been confirmed in multiple studies, including inactivation of African swine fever, foot and mouth disease and avian influenza under practical conditions. The reviewed evidence highlights HOCl's potential to serve as a reliable tool in the One Health framework, especially in biosecurity programs targeting the prevention and control of zoonotic and production-limiting pathogens. Its application is particularly promising in areas where traditional disinfectants are less effective or pose safety concerns. At the end of the manuscript, practical recommendations are provided for the implementation of stabilized HOCl in veterinary and environmental hygiene protocols.

A tisztítás és fertőtlenítés a járványvédelmi megelőző intézkedések kiemelkedően fontos elemei az állattartásban: a megfelelő telepi menedzsmenttel, az optimális tartási környezet, továbbá a megfelelő takarmányozási gyakorlat megvalósításával, valamint a magas szintű állomány-egészségügyi menedzsmenttel hozzájárul az állatok egészségéhez és jóllétéhez [1], amelynek következtében a természetes mutatók javulnak, ezáltal maximalizálva a gazdaságos termelést [2]. Másfelől, az újszülött, még éretlen immunrendszerrel rendelkező, vagy a vemhes, a frissen ellett és a szoptató állatokra nehezedő fertőzőési nyomás csökkentésében is kulcsszerepe van [3].

A tisztítás és fertőtlenítés a járványvédelmi megelőző intézkedések kiemelkedően fontos elemei az állattartásban

A járványvédelmi intézkedések hozzájárulnak az antimikrobiális szerek használatának csökkentéséhez

Az állattartó gazdaságokban megvalósuló *járványvédelem* (biológiai biztonság) olyan intézkedések összessége, amely a fertőző betegségek gazdaságba történő bejutásának, azon belül való elterjedésének, továbbá a fertőző ágens az állattartó telepről történő kijutásának kockázatát hivatott csökkenteni [4, 5]. Az állattartó telepeken alkalmazott állategészségügyi és biológiai biztonsági intézkedések közé tartozik a rendszeres állatorvosi vizsgálat, a nagy és kisebb járványügyi kockázatú területek elkülönítése higiéniai sorompókkal, hasonlóképpen, a beteg egyedek egészségesektől való elkülönítése, az állományba újonnan érkezett állatok karanténba helyezése, valamint az egészséges tartási környezet biztosítása a betartandó magas fokú személyi és gépjármű-higiénia, továbbá az épületek és eszközök rendszeres tisztítását és fertőtlenítését [3, 4]. Ezen megelőző, biztonsági intézkedések jelentős mértékben hozzájárulnak a fertőző kockázat csökkentéséhez, amely az antimikrobiális szerek használatának mérsékléséhez, így az ezekkel szemben esetlegesen kialakuló rezisztencia csökkenéséhez vezet [6, 7].

AZ IDEÁLIS FERTŐTLENÍTŐSZER TULAJDONSÁGAI

Az ideális fertőtlenítőszer ismérve, hogy nem károsítja a környezetet és az állatok egészségét, azaz nem mérgező, nem irritatív, nem okoz allergiás tüneteket sem az állatokban sem a felhasználó személyben, a kezelt felületen nem korrozív, nem tűzveszélyes, ugyanakkor hatékony, széles antimikrobiális spektrummal, gyors, irreverzibilis és tartós hatással rendelkezik, amelyet a környezeti tényezők, szerves szennyező anyagok (pl. vér, bélsár, takarmány) nem befolyásolnak. Ellenáll a szélsőséges hőmérsékleti körülményeknek, a napsugárzás (UV) nem csökkenti jelentősen a hatékonyságát, használata könnyű, szagtalan, vízben oldható, hígítva is hatékony, kompatibilis a tisztítás során alkalmazott vegyszerekkel, szappanokkal, de önmaga is rendelkezik tisztító hatással és mindez megfizethető áron elérhető a felhasználók számára [8–10]. Ezeknek az elvárásoknak minden körülmények között megfelelő fertőtlenítőszer azonban nem létezik.

Az adott gazdaság számára a lehető legjobb fertőtlenítőszer kiválasztása összetett feladat

A szakemberek feladata az adott gazdaság számára a lehető legjobb fertőtlenítőszer kiválasztása, figyelembe véve a szer fiziko-kémiai tulajdonságait és szükséges antimikrobiális spektrumot [11], a kezelendő felület minőségét, a szervesanyag-terhelés mértékét és a szükséges behatási (kontakt) időt [9]. Az állattartó üzemekben a fertőtlenítést minden esetben tisztításnak kell megelőznie, mivel a nagy mennyiségű szerves szennyezőanyag (pl. trágya, takarmány, por) jelentősen csökkentheti az alkalmazott fertőtlenítőszer hatását [1, 11, 12].

Alapvető különbség a tisztítás és a fertőtlenítés között, hogy az előbbi a szerves szennyeződések, így a mikroorganizmusok – általában – elpusztítása nélkül, fizikális eltávolítással – tisztítással jár. A fertőtlenítés esetében a fertőtlenítő hatású vegyületek a már könnyen "hozzáférhetővé" vált, még a kezelendő felületen maradt kórokozók valódi elpusztítását végzik. Az állattartó gazdaságok épületeinek higiéniai programjában a kémiai, azaz a fertőtlenítő hatású biocidok alkalmazásának van gyakorlati relevanciája [14].

A kémiai fertőtlenítés során alkalmazott készítmények hatékonyan képesek elpusztítani a kórokozókat (baktériumok, vírusok, gombák, algák) vagy gátolni azok szaporodását. A tisztító-fertőtlenítő hatású szerek nem minden kórokozót pusztítanak el, de számukat állat- és közegészségügyi szempontból elfogadható szintre csökkentik. A fertőtlenítőszer hatóanyagától és koncentrációjától függően lehetnek berendezési tárgyakon, felületeken alkalmazott vegyületek, amelyek elpusztítják a legtöbb fakultatív és obligát patogén mikroorganizmust, a spórákat azonban általában nem képesek inaktíválni. Emellett az antiszeptikumokat élő szervezeteken is alkalmazzák a mikroorganizmusok növekedésének gátlása vagy azok elpusztítása céljából. A detergenssek, vagy más néven tisztítószeresek a felületeken található szennyeződések eltávolítását szolgálják. Bizonyos fertőtlenítőszeresek, mint pl. a klórvegyületek, a jodoforok, a kvaterner ammónium-vegyületek tisztító tulajdonsággal is rendelkeznek [15].

A HIPOKLÓROSSAV TULAJDONSÁGAI

A hipoklórossav (HOCl) egy rendkívül erős oxidálószer, amely a mikroorganizmusok széles spektruma ellen hatékony

A hipoklórossav (HOCl) egy rendkívül erős oxidálószer, amely a mikroorganizmusok széles spektruma ellen hatékony [8]. Gyengén savas és semleges közegben (pH 5–7) az egyik leghatékonyabb klórtartalmú vegyület, amelynek szabad aktív klórtartalma akár 80% feletti értéket is elérhet és fertőtlenítő hatása nagyjából 80× erősebb a nátrium-hipokloriténál (NaOCl) [16]. A HOCl egy természetes molekula, amit fertőzés során az immunrendszer is termel a szervezetben megtelepedő kórokozók ellen [17]. A neutrophil granulocytákban termelődött hidrogén-peroxid (H_2O_2) körülbelül 70%-a alakul át a mieloperoxidázok segítségével HOCl-vá [18]. Egyes becslések szerint 2 órás inkubációt követően 10^6 stimulált neutrophil granulocytá 0,2 μ mol HOCl előállítására képes, amely egy ezredmásodperc alatt képes 150 millió *Escherichia coli* baktériumot elpusztítani [19].

A HOCl-oldat előállítása többféleképpen lehetséges [20]. Általában nátrium-klorid (NaCl) és víz elektrolízisével zajlik [21], azonban az ilyen módon előállított oldat kis mennyiségű, használata korlátokba ütközik olyan területeken, mint pl. a mezőgazdaság, az állattenyésztés és az élelmiszeripar [16]. Emiatt napjainkban előtérbe kerültek újabb generációs, eltérő módszeren alapuló megoldások is, amelyek során a HOCl gyártása elektrolízis nélkül zajlik. Az ásványi anyag hozzáadásával kezelt HOCl-oldat (MS-HOCl) hasonló fizikai-kémiai tulajdonságokkal rendelkezik, mint az elektrolízissel előállított HOCl-oldat. Megfelelő, költséghatékony alternatívája a kórházi környezetben, élelmiszeriparban és állattenyésztésben használt fertőtlenítőszereseknek, hiszen kiváló baktericid hatást mutat *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Streptococcus mutans* és *Helicobacter pylori* ellen is [20]. Hatékony koncentrációját a legtöbbször ppm-ben (*parts per million*) fejezik ki, amely 1 mg oldott anyagnak 1 liter oldószerhez viszonyított arányát jelöli (1 ppm = 1 mg/l = 1 μ g/ml). Egy másik elektrolízis nélkül előállított forma a hidrogén-ásványi alapú HOCl (HM-HOCl), amelyet a könnyű előállíthatóságának, kezelhetőségének, valamint jelentős mikrobaölő aktivitásának köszönhetően az utóbbi időben a mezőgazdaságban is elkezdtek alkalmazni [16].

A HOCl egy sokoldalú, világszerte széles körben alkalmazott fertőtlenítőszer

A HOCl egy sokoldalú, világszerte széles körben alkalmazott fertőtlenítőszer, amelyet széles hatásspektrumának, könnyű alkalmazhatóságának, költséghatékonyságának, környezetbarát tulajdonságának és biztonságosságának köszönhetően elsősorattal alkalmaznak a közegészségügyben, a mezőgazdaságban, az élelmiszeriparban, a halgazdaságokban, az állatorvosi területeken, valamint ivóvizek fertőtlenítésében is. Az állattenyésztésben többek között tojások fertőtlenítésére, húsfeldolgozás során, fertőzések visszaszorításához, és a haszonállattartó telepek épületeinek fertőtlenítéséhez használják. A baktérium-, vírus- és gombaelenes hatása miatt a növénytermesztésben alkalmazott növényvédőszeresek, egyéb vegyszerek, valamint az állattenyésztésben használt antibiotikumok biztonságos

és környezetbarát alternatívájaként tartják számon, ugyanis a használatuk során kevés talaj- és vízszennyező maradékanyag keletkezik, miközben az emberek és állatok egészségét sem veszélyezteti [16].

A HIPOKLÓROSSAV STABILITÁSA, GYAKORLATI ALKALMAZÁSA

A HOCl számos mikroorganizmus ellen nagyobb hatékonyságot mutat, mint a nátrium-hipoklorit [22], ugyanakkor kevésbé stabil a különböző környezeti tényezőkkel szemben, ugyanis az ultraibolya (UV) sugárzás, a levegővel való érintkezés és a magasabb hőmérséklet ($> 25\text{ }^{\circ}\text{C}$) hatására veszít a stabilitásából [8, 22]. A HOCl-oldatot napfénynek kitett helyen tárolva, az oldat klórkoncentrációjának csökkenése a 4. napon, míg napfénytől védett helyen tárolva a 14. nap után következik be [23]. Ezért fontos, hogy az oldatot fénytől védett, hűvös helyen ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) tároljuk, miközben a levegővel való érintkezést minimalizáljuk, így az oldatban a HOCl-molekulák koncentrációja és baktericid aktivitása megőrizhető. Az oldatban található aminocsoportot (NH_2) vagy szénhidrátkomponenst (CHO) tartalmazó szerves vegyületek, valamint a szerves ionok (NO_2^- , SO_3^- , PO_3^- , Fe_2^+ , Cu_2^+) és CuS oxidációs reakciók révén szintén csökkentik a HOCl-oldat stabilitását, koncentrációját és mikrobaölő aktivitását, ezért az oldat előállításához olyan tiszta vízre van szükség, amely a lehető legkisebb koncentrációban tartalmazza ezeket a szerves és szerves ion komponenseket [22]. Tehát a megfelelő fizikai-kémiai körülmények között történő előállítás és tárolás stabilizálja az aktív, fertőtlenítő hatékonyságát.

A hipoklórossav egyik legnagyobb hátránya, hogy a szerves anyag jelenlétére igen érzékeny, ezért alkalmazása előtt alapos tisztításra van szükség. A HOCl-oldat alkalmazása a felhasználás célja szerint különböző módszerekkel lehetséges, pl. áztatással, habosítással (1. ábra), ködképzéssel (2. ábra), permetezéssel. Ezek közül a permetezés és a ködképzés rendkívül hatékony módja nagyobb területek fertőtlenítésének [16], ugyanis a folyamat során $20\text{ }\mu\text{g}$ -nál kisebb részecskeméretű aeroszolköd képződik [8]. A ködösítés azonban megváltoztathatja a fertőtlenítőszer fizikai és kémiai tulajdonságait, a folyamat során feltehetően a klórgáz elpárolgása miatt megközelítőleg 70%-kal csökken az aktív hatóanyag, azaz az oldatban rendelkezésre álló szabad klór koncentrációja, miközben az oldat pH-ja nő [8].

A hipoklórossav alkalmazása előtt alapos tisztításra van szükség

1. ÁBRA. Állattartó épület fertőtlenítése habosítással
A habosított formában történő vegyszer kijuttatás elnyújtottabb behatási időt, így hatékonyság-növelést tesz lehetővé

FIGURE 1. Disinfection of livestock buildings using foam
Applying chemicals in foam form allows for a longer exposure time, thus increasing its efficacy



2. ÁBRA. Állattartó épület

fertőtlenítése ködösítéssel

A ködképző berendezések általi fertőtlenítőszer kijuttatás az állattartó épületekben elősegíti a permetezéssel nehezen hozzáférhető épületrészek (repedések, illesztések) hatékony fertőtlenítését

FIGURE 2. *Disinfection of livestock buildings using fogging*

The application of disinfectants by fogging equipment in livestock buildings enables the effective disinfection of areas that are difficult to reach by spraying (cracks, joints)



AZ AKTÍV HIPOKLÓROSSAV BAKTÉRIUMELLENES HATÁSMECHANIZMUSA ÉS HATÉKONYSÁGA

Elektromos semlegességének és kis molekulatömegének köszönhetően könnyedén átjut a baktériumok sejtmembránján

Kölcsönhatásba lép a sejtmembránnal, gátolja a fehérje- és DNS-szintézist

A hipoklórossavnak jelentős biofilmellenes hatása is van

A HOCl erős antimikrobiális aktivitása annak tulajdonítható, hogy elektromos semlegességének és kis molekulatömegének köszönhetően passzív diffúzióval könnyedén átjut a baktériumok sejtmembránján [24], ezáltal számos biomolekulával (pl.: kéntartalmú aminosavakkal, lipidekkel, nukleinsavakkal) és membránalkotóelemmel kölcsönhatásba lép, súlyos sejtkárosodást okozva [17]. A sejtmembrán kén- és vastartalmú enzimeivel és strukturális proteineivel való irreverzibilis reakciója következtében a membrán légzőfunkciója sérül, csökken a sejt tápanyag- és oxigénfelvétele, így a sejt elveszíti életképességét és elpusztul [22, 25]. A membrán alkotóelemeivel való reakció következtében károsodnak az energiaátvitelért és szállításáért felelős fehérjék, ami az adenozin-trifoszfát (ATP) gyors hidrolízisét eredményezi, továbbá az ATP-áz enzim gátlásával megzavarja a membránhoz kapcsolt ATP-termelő folyamatokat. A HOCl hatására a peptidkötések felszakadnak, ami a fehérjék és aminosavak feldarabolódásához, ill. a fehérjék harmadlagos szerkezetének megváltozásához vezet, így az esszenciális bakteriális fehérjék irreverzibilis kicsapódása következik be, ami végül a baktérium pusztulását eredményezi [17].

A HOCl a transzlációban és transzkripcióban résztvevő fehérjékkel is kapcsolatba lép, amelynek következtében gátolja a fehérje- és dezoxiribonukleinsav- (DNS) szintézist, megállítva ezzel a baktériumok növekedését [17]. A HOCl és a DNS nukleotidjainak imino- (NH) csoportjai közti reakció eredményeként képződött reaktív klóraminok a hidrogénkötések felszakítása és nitrogénykök képzése révén a kettős szálú DNS-szálnak szétválásához vezet [26]. A HOCl lipidekkel való reakciója során a hagyományos lipideknél polárisabb klórhidrin keletkezik, amely a sejtmembrán szerkezetének és funkciójának megzavarásával a baktériumsejt lízisét eredményezi [27].

A HOCl *in vitro* körülmények között, pH 5–6-on kitűnő baktericid és biofilmellenes hatású, aktívan behatol a biofilmbe, és elpusztítja az ott lévő mikroorganizmusokat, beleértve a spóráképző baktériumokat is [16, 24, 25]. A biofilmek összetettsége és metabolikus diverzitása miatt a benne található baktériumok HOCl-re adott válasza kevésbé kiszámítható, mint a planktonikus sejteké [17].

A celluláris homeosztázis fenntartása érdekében a mikroorganizmusoknak alkalmazkodniuk kell a HOCl okozta oxidatív stressz által létrejött károsodáshoz, ehhez az anyagcseréjük megváltoztatására, valamint transzkripciók faktorok által szabályozott válaszmechanizmus indukálására van szükség. Ez a folyamat azonban túl lassú ahhoz, hogy felvegye a versenyt a HOCl és az aminosav-oldalláncok közti gyors reakcióval, ezért a baktériumsejtek a HOCl okozta stressz hatására azonnal aktiválják az ún. chaperonokat, másnéven dajkafehérjéket. Ezek olyan hősokk-fehérjék, amelyek kulcsfontosságúak a HOCl okozta oxidatív stressz elleni hatékony válaszreakció kialakításában, ugyanis a többi fehérjéhez kapcsolódva megakadályozzák azok hibás feltekeredését és a letális fehérje aggregátumok kialakulását [17]. A továbbiakban a legfontosabb, zoonotikus potenciállal rendelkező, gyakran multirezisztens baktériumok elleni hatékonyságot bemutató irodalmi eredmények következnek.

STAPHYLOCOCCUS AUREUS ELLENES HATÉKONYSÁG

Kimutatták, hogy már 50 ppm HOCl, szuszpenzióban 3log értékkel képes csökkenteni a *Staphylococcus aureus*, és a meticillin-rezisztens *Staphylococcus aureus* (MRSA) számát 15 másodperc alatt [22, 24]. A ClO⁻ esetén ugyanezen hatás eléréséhez jóval nagyobb – 200 ppm és 500 ppm – koncentrációra volt szükség [22, 24]. Négy ppm-nél nagyobb koncentrációjú HOCl-t *in vitro* körülmények között, milliliterenként több ezer bakteriális telepformáló egységet (CFU) tartalmazó tó vízéhez adagolva, teljes mikrobaölő hatást értek el, ennél kisebb koncentrációt (< 4 ppm) alkalmazva azonban már csak részleges antimikrobiális hatás mutatkozott [22].

Egy kutatás során a HOCl 0,1 és 2,8 µg/ml koncentrációban széles spektrumú antimikrobiális hatást mutatott. A *minimális baktericid koncentráció* (MBC) *Staphylococcus aureus* esetén 0,173 µg/ml volt [28]. Egy másik vizsgálat során a stabilizált HOCl oldat MBC-értéke 3 ppm volt. Ezt a koncentrációt alkalmazva a *Staphylococcus aureus* 12 másodpercen belül elpusztult [25].

ESCHERICHIA COLI ELLENES HATÉKONYSÁG

A HOCl 50 ppm koncentrációja szignifikáns csökkenést eredményezett a patogén *Escherichia coli* és *Escherichia coli* O-157 számában [22]. A HOCl alkalmazását követő 5 percen belül 20 ppm HOCl a csíraszám növekedés 50%-át, míg 50 ppm HOCl a sejtosztódás 100%-át képes volt gátolni. Az 5 perces, 50 ppm HOCl-nek való kitettség a DNS-szintézist (timidinsavas kicsapás) 96%-kal csökkentette, azonban a fehérjészintézis gátlása ennyi idő után csupán 10–30%-os volt, 30 perc után viszont 80%-ra emelkedett. Ugyanakkor 5 ppm HOCl koncentráció alatt a bakteriális membrán károsodása és a fehérjék lebomlása nem volt tapasztalható [29]. Egy másik kutatás során az MBC-értéke *Escherichia coli* esetén 0,7 µg/ml, volt [28].

PSEUDOMONAS AERUGINOSA ELLENES HATÉKONYSÁG

Egy vizsgálat során már 50 ppm HOCl szignifikáns csökkenést mutatott a *Pseudomonas aeruginosa* baktériumok számában és 0,35 µg/ml koncentrációban MBC-hatást figyeltek meg [28]. Egy másik vizsgálat során stabilizált HOCl oldat MBC értékét 3 ppm-ben állapították meg *Pseudomonas aeruginosa* esetén. Ezt a 3 ppm koncentrációt alkalmazva a mikroorganizmusok 12 másodpercen belül elpusztultak foszfátpuffer-oldatban. A mikroorganizmusok által alkotott biofilm gyengítésére irányuló hatékony töménység 1–2 ppm volt [25].

AZ AKTÍV HIPOKLÓROSSAV VÍRUSELLENES HATÁSMECHANIZMUSA ÉS HATÉKONYSÁGA

A HOCl nem a vírus genetikai állományát (RNS/DNS-t) támadja elsődlegesen, hanem a vírus külső szerkezeti elemeit roncsolja. A HOCl oxidálja a vírusburkon vagy kapszidban található fehérjéket, különösen azokat, amelyek a sejtfelszínhez

A HOCL hatékonyan roncsolja a vírusok szerkezeti elemeit

való kapcsolódásért felelősek. Ez fehérjekicsapódást és funkcióvesztést eredményez, így a vírus nem képes a gazdasejthez kötődni vagy bejutni abba [30]. A burokkal rendelkező vírusok esetében a HOCl oxidálja a lipidmembrán alkotóit, ami membráninstabilitáshoz és a vírus széteséséhez vezet [31]. A HOCl különösen reakcióképes a kén- és aromás csoportokat tartalmazó aminosavakkal, így károsítva a fehérjék térszerkezetét, ezáltal azok funkcióját [8]. A HOCl klóraminok és nitrogén-gyökök képzésén keresztül kevesebb mint egy perc alatt képes inaktiválni bizonyos vírusokat, beleértve a coronavírust is. Kétszáz ppm koncentrációban egy perc alatt, míg tízszeresére hígítva, 20 ppm koncentrációban 10 perc alatt képes elpusztítani a norovírust és egyéb enterális vírusokat [8].

A HOCl hatékonyan inaktiválja az afrikai sertéspestis vírusát

AZ AFRIKAI SERTÉSPESTIS VÍRUSA ELLENI HATÉKONYSÁG

Az savanyú elektrolízissel előállított víz, amelynek aktív hatóanyaga a HOCl, hatékonyan inaktiválja az afrikai sertéspestis vírusát (african swine fever virus, ASFV), különösen kismértékű szervesanyag-szennyezettség mellett. Kisebb szervesanyag-szennyezettségű környezetben már ≥ 40 ppm, míg nagyobb szennyezés esetén pedig ≥ 80 –100 ppm szabadklór-koncentrációval teljes inaktiválás érhető el 30 perces behatási idő alatt [32].

A HOCl erős oxidálószer, amely többféle biomolekulát is képes károsítani. A vírusok lipidmembránját, fehérjéit és nukleinsavait célozza, oxidálja a szulfhidril- és amino-csoportokat, klóros vegyületeket képez, amelyek keresztkötéseket okoznak és destabilizálják a vírus szerkezetét. Ezek a reakciók lipidklórhidrin képződéséhez vezetnek, ami növeli a vírus membránjának permeabilitását és funkcióvesztést okoz [8, 30].

Egyes vizsgálatok szerint a klór-dikloroizocianurát oldatok, amelyek HOCl-lá alakulnak vízben, 5 perc alatt akár 65–100%-os vírusinaktiválást mutatnak ASFV esetén, szobahőmérsékleten [33]. Más leírások is megerősítik, hogy a nátrium-hipoklorit és más HOCl-generáló fertőtlenítők sikeresen inaktiválják az ASFV-t. Ezek különböző testfelületeken és környezetekben is hatékonyan alkalmazhatók [34].

Összefoglalva, a hipoklórossav oldat gyors és hatékony vírusinaktiváló hatású, mivel többféle biológiai célpontot is oxidál: a membránt, a fehérjéket és a nukleinsavakat. Ezen a hatások összessége gyors funkciókárosodást idéz elő a vírusban, így a hatóanyag alapos tisztítás után alkalmas a környezeti fertőtlenítésre.

A RAGADÓS SZÁJ- ÉS KÖRÖMFÁJÁS VÍRUSA ELLENI HATÉKONYSÁG

A ragadós száj- és körömfájás (RSZKF) vírusának rendkívüli fertőző képességét három fő jellegzetesség adja: gyors és hatékony sejtfertőzés-képesség (cap-független replikáció), az antivirális válasz gátlása (pl. transzláció leállítás, interferon-mechanizmus gátlása), valamint hosszan tartó környezeti stabilitás. Ezek együttesen teszik lehetővé a gyors járványterjedést és a nagy gazdasági károkat. Amint a vírus bejut a sejtekbe (pl. szájnyálkahártyán keresztül), rövid idő alatt nagy számú új viriont képez, elnyomja a sejtfunciókat és csökkenti a gazda immunvédelmét. Ez megnehezíti a szervezet számára a korai immunválaszt, és elősegíti az áttörést a kezdeti védelmi vonalakon [35, 36].

Egy kutatásban kimutatták, hogy már 100 ppm HOCl-koncentrációval 4 log₁₀ csökkenést (99,99 %-os inaktivációt) lehet elérni, rövid behatási idő (néhány perc) és szobahőmérséklet mellett [37]. Ezzel összehasonlítva szilárd felületekre felvitt vírust 2000 ppm nátrium-hipoklorit önmagában nem volt képes inaktiválni [38].

Összességében tehát a stabilizált HOCL hatékonyan inaktiválja a ragadós száj- és körömfájás vírusát laboratóriumi tesztek alapján. Mechanizmusa sokrétű, oxidálja a vírusfehérjéket és nukleinsavakat, károsítja a lipidmembránt, ezáltal visszafordíthatatlan sérüléseket okoz. Mindez azt mutatja, hogy HOCl különösen hasznos lehet állattartó telepek épületeinek fertőtlenítésében, de alkalmazásakor figyelembe kell venni a környezeti tényezőket és a szervesanyag jelenlétét.

100 ppm
koncentrációban
percek alatt inaktiválja
az RSZKF vírusát

A MADÁRINFLUENZA VÍRUSA ELLENI HATÉKONYSÁG

A madárinfluenza vírus inaktiválása a tárgyak felületén vagy a baromfitelepek légterében jelentősen csökkentené, továbbá korlátozná a vírus terjedését és a járványkitörések esélyét [39]. Ezért egy nagy hatékonyságú aeroszolos fertőtlenítőszer érdemi lépést jelentene a hatékony megelőzés és a kitörések leküzdése tekintetében [40].

Enyhén savas (pH 5,2–5,8) HOCl-t (ioncserélő gyantával NaClO-ból és tisztított vízből előállítva) különböző felületeken teszteltek alacsony patogenitású H7N1 madárinfluenza ellen, permetezéssel és szervesanyag jelenléte mellett is. Azt tapasztalták, hogy 62 ppm koncentrációt tartalmazó szuszpenzióban a vírustiter 30 másodperc alatt ezredrészére csökkent. Közvetlen permetezéssel a 300 ppm már 10 percen belül, az 50 ppm már 20 percen belül kimutathatatlan szintre csökkentette a vírus mennyiségét [41].

Egy másik tanulmányban 50 ppm szuszpenzióban 5 másodperc alatt ezredrészére csökkentette a vírustiterszámot. A szervesanyag-szennyeződést modellező 5%-os főtális borjúsavú (FBS) jelenlétében viszont elvesztette a hatékonyságát. Műselyemlapokon tesztelve a 200 és 300 ppm-es koncentrációk azonnal, az 50 ppm-es koncentráció 3 perc alatt volt képes inaktiválni a vírust. Amennyiben a műselymet tartalmazó zárt edényt kinyitották, úgy csak a 200 ppm-es koncentráció és az is csak 10 perc alatt volt képes inaktiválni a vírust [39].

MEGVITATÁS ÉS GYAKORLATI AJÁNLÁSOK

A stabilizált HOCl hatékony, széles spektrumú fertőtlenítőszer mind baktériumok, mind vírusok ellen. Az vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy különösen nagy hatékonyságot mutat több zoonotikus jelentőségű, ill. állategészségügyi szempontból releváns baktériummal szemben, köztük *E. coli*, *P. aeruginosa* és *S. aureus* törzsek ellen. A stabilizált HOCl már 30–50 ppm koncentrációban is 5–6 log₁₀ nagyságrendű csíraszámcsökkenést okoz, különösen kiemelkedő hatékonyságot mutat *S. aureus* és *E. coli* esetén (Táblázat).

Vírusellenes vizsgálatok alapján a HOCl képes gyorsan inaktiválni többek között a ragadós szájs- és körömfájás vírusát, az afrikai sertéspestis vírusát és a madárinfluenza-vírust is. Hatásmechanizmusa több szinten érvényesül: oxidatív károsodást okoz a membránjukban, fehérjeiben és genetikai anyagában. Ennek köszönhetően gyors, akár 1 percen belüli, irreverzibilis fertőtlenítő hatás érhető el (Táblázat).

TÁBLÁZAT. A stabilizált hipoklórossav (HOCl) hatékonysága néhány jelentős mikroorganizmussal szemben

TABLE. The efficacy of stabilized hypochlorous acid (HOCl) against some important microorganisms

Mikroorganizmus	Alkalmazott koncentráció	A 10 ⁴ nagyságrendű csíraszám csökkenéséhez szükséges behatási idő
Baktériumok		
<i>Staphylococcus aureus</i>	50 ppm	5 perc
<i>Escherichia coli</i>	50 ppm	5 perc
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	50 ppm	5 perc
Vírusok		
Afrikai sertéspestis vírusa	100 ppm	5–10 perc
Ragadós szájs- és körömfájás vírusa	100 ppm	5–10 perc
Madárinfluenza-vírus	200 ppm	5–10 perc

**Az enyhén savas,
stabilizált HOCl
hatékonyan
alkalmazható a
gyakorlatban a külső
és belső telepi
járványvédelemben**

A stabilizált HOCl előnyei közé tartozik, hogy nem toxikus, nem irritáló, alkalmazása biztonságos emberre, állatra és környezetre nézve is. A hatékonyság megtartása azonban a megfelelő tároláson és alkalmazási formán múlik (pl. ködképzés, permetezés, padlófertőtlenítés).

A szerves anyagok jelenléte azonban jelentősen csökkenti a hatékonyságot, ezért az alkalmazást megelőző alapos tisztítás és szennyezettség esetén nagyobb dózis alkalmazása javasolt!

Összességében a HOCl a jelenleg elérhető fertőtlenítőszeresek közül egy ígéretes hatóanyagként bizonyul stabilizált formában, különösen a nagy fertőzőképességű vírusokkal és multirezisztens baktériumokkal szembeni védekezés során az állattenyésztés és élelmiszerlánc-biztonság területén.

Az enyhén savas, stabilizált HOCl megfelelő koncentrációban, permetezéssel kijuttatva hatékonyan alkalmazható a gyakorlatban a külső és belső telepi járványvédelemben. Ehhez az állattartó telepek bejáratánál és a telepeken belüli telepített permetezőrendszerek (permetezőkapuk) telepítése javasolt.

Az alacsony előállítási költség, a könnyű alkalmazhatóság, az elérhetőség és a biztonság a legfontosabb szempontok, amelyek arra ösztönzik az állattenyésztésben dolgozókat, hogy permetezve, aeroszolos fertőtlenítőszerként használják az állattartó telepeken a HOCl-t.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az RRF-2.3.1-21-2022-00001 számú projekt a Helyreállítási és Ellenállóképességi Eszköz és Nemzeti Helyreállítási Alapból nyújtott támogatásával, az RRF-2.3.1-21 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

1. Böhm R (1998) Disinfection and hygiene in the veterinary field and disinfection of animal houses and transport vehicles. *Int Biodeter Biodegr* 41:217–224. [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(98\)00030-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(98)00030-4)
2. Gosling R (2018) A review of cleaning and disinfection studies in farming environments. *Livestock* 23:232–237. <https://doi.org/10.12968/live.2018.23.5.232>
3. Fotheringham VJ (1995) Disinfection of livestock production premises. *Rev Sci Tech* 14:191–205. <https://doi.org/10.20506/rst.14.1.833>
4. Egészség- és Fogyasztóügyi Főigazgatóság (Európai Bizottság) (2007) Az Európai Unió új állat-egészségügyi stratégiájáról (2007–2013), melynek alapelve: „jobb megelőzni, mint gyógyítani”. Az Európai Unió Kiadóhivatala, Luxemburg
5. Dewulf J, Immerseel F, Postma M, Rooster H, Damiaans B, Sarrazin S, Abma E, Maes D (2018) Biosecurity in animal production and veterinary medicine: *From Principles to Practice*. Leuven, Belgium; The Hague, The Netherlands: ACCO
6. Pokludová L (2020) Prevention Is Better Than Cure. In: Pokludová L (ed) *Antimicrobials in Livestock 1: Regulation, Science, Practice: A European Perspective*. Springer International Publishing, Cham, pp 125–165
7. Kovács L, Klaucke CR, Farkas M, Bakony M, Jurkovich V, Könyves L (2025) The correlation between on-farm biosecurity and animal welfare indices in large-scale turkey production. *Poultry Sci* 104:104598. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104598>
8. Block MS, Rowan BG (2020) Hypochlorous Acid: A Review. *J Oral Maxillofac Surg* 78:1461–1466. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2020.06.029>
9. Rutala WA, Weber DJ (2014) Selection of the ideal disinfectant. *Infect Control Hosp Epidemiol* 35:855–865. <https://doi.org/10.1086/676877>
10. Grooms D (2003) Biosecurity Guide for Livestock Farm Visits. Michigan State University Extension Bulletin, E-2842
11. Amass SF (2004) Diagnosing disinfectant efficacy. *J Swine Health Prod* 12:82–83
12. Price AB (2019) Evaluation of a Revised Protocol for Stall Terminations in the Large Animal Hospital. Virginia Polytechnic Institute and State University
13. McLaren I, Wales A, Breslin M, Davies R (2011) Evaluation of commonly-used farm disinfectants in wet and dry models of *Salmonella* farm contamination. *Avian Pathol* 40:33–42. <https://doi.org/10.1080/03079457.2010.537303>
14. Rafai P (2003) Állathigiénia. Agroiinform Kiadó, Budapest
15. Dvorak G (2008) Disinfection 101. Ames, IA: Center for Food Security and Public Health, Iowa State University
16. Bajgai J, Kim C-S, Rahman M, Fadrikuella A, Thuy T, Lee K-J (2020) Application of New Concept Disinfectant, Huureka®, On Livestock Farming Application of New Concept Disinfectant, Huureka®, On Livestock Farming

17. da Cruz Nizer WS, Inkovskiy V, Overhage J (2020) Surviving Reactive Chlorine Stress: Responses of Gram-Negative Bacteria to Hypochlorous Acid. *Microorganisms* 8:E1220. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8081220>
18. Mütze S, Hebling U, Stremmel W, Wang J, Arnhold J, Pantopoulos K, Mueller S (2003) Myeloperoxidase-derived Hypochlorous Acid Antagonizes the Oxidative Stress-mediated Activation of Iron Regulatory Protein 1 *. *J Biol Chem* 278:40542–40549. <https://doi.org/10.1074/jbc.M307159200>
19. Lapenna D, Cuccurullo F (1996) Hypochlorous acid and its pharmacological antagonism: an update picture. *Gen Pharmacol* 27:1145–1147. [https://doi.org/10.1016/s0306-3623\(96\)00063-8](https://doi.org/10.1016/s0306-3623(96)00063-8)
20. Rahman M (2019) Characteristics and Anti-bacterial Effects of Mineral Supplement-Hypochlorous Acid Water on Human Pathogenic Bacteria. pp 44–55
21. Mourad KA, Hobro S (2020) Developing chlorine-based anti-septic by electrolysis. *Sci Total Environ* 709:136108. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136108>
22. Ishihara M, Murakami K, Fukuda K, Nakamura S, Kuwabara M, Hattori H, Fujita M, Kiyosawa T, Yokoe H (2017) Stability of Weakly Acidic Hypochlorous Acid Solution with Microbicidal Activity. *Biocontrol Sci* 22:223–227. <https://doi.org/10.4265/bio.22.223>
23. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Steier L, de Figueiredo J a. P (2011) Some factors influencing the stability of Sterilox®, a super-oxidised water. *Br Dent J* 210:E23. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2011.143>
24. Ono T, Yamashita K, Murayama T, Sato T (2012) Microbicidal effect of weak acid hypochlorous solution on various microorganisms. *Biocontrol Sci* 17:129–133. <https://doi.org/10.4265/bio.17.129>
25. Sakarya S, Gunay N, Karakulak M, Ozturk B, Ertugrul B (2014) Hypochlorous Acid: an ideal wound care agent with powerful microbicidal, antibiofilm, and wound healing potency. *Wounds* 26:342–350
26. Hawkins CL, Davies MJ (2002) Hypochlorite-induced damage to DNA, RNA, and polynucleotides: formation of chloramines and nitrogen-centered radicals. *Chem Res Toxicol* 15:83–92. <https://doi.org/10.1021/tx015548d>
27. Spickett CM, Jerlich A, Panasenko OM, Arnhold J, Pitt AR, Stelmasyńska T, Schaur RJ (2000) The reactions of hypochlorous acid, the reactive oxygen species produced by myeloperoxidase, with lipids. *Acta Biochim Pol* 47:889–899
28. Wang L, Bassiri M, Najafi R, Najafi K, Yang J, Khosrovi B, Hwong W, Barati E, Belisle B, Celeri C, Robson MC (2007) Hypochlorous acid as a potential wound care agent: part I. Stabilized hypochlorous acid: a component of the inorganic armamentarium of innate immunity. *J Burns Wounds* 6:e5
29. McKenna SM, Davies KJ (1988) The inhibition of bacterial growth by hypochlorous acid. Possible role in the bactericidal activity of phagocytes. *Biochem J* 254:685–692. <https://doi.org/10.1042/bj2540685>
30. Dianty R, Hirano J, Anzai I, Kanai Y, Hayashi T, Morimoto M, Kataoka-Nakamura C, Kobayashi S, Uemura K, Ono C, Watanabe T, Kobayashi T, Murakami K, Kikuchi K, Hotta K, Yoshikawa T, Taguwa S, Matsuura Y (2023) Electrolyzed hypochlorous acid water exhibits potent disinfectant activity against various viruses through irreversible protein aggregation. *Front Microbiol* 14:1284274. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1284274>
31. Tazawa K, Jadhav R, Azuma MM, Fenno JC, McDonald NJ, Sasaki H (2023) Hypochlorous acid inactivates oral pathogens and a SARS-CoV-2-surrogate. *BMC Oral Health* 23:111. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02820-7>
32. Rhee CH, Kim S, Kang YE, Han B, Seo S-J, Kim YW, Her M, Jeong W (2021) Virucidal efficacy of acidic electrolyzed water (AEW) against African swine fever virus and avian influenza virus. *J Vet Med Sci* 83:201–207. <https://doi.org/10.1292/jvms.20-0534>
33. Ni Z, Chen L, Yun T, Xie R, Ye W, Hua J, Zhu Y, Zhang C (2023) Inactivation Performance of Pseudorabies Virus as African Swine Fever Virus Surrogate by Four Commercialized Disinfectants. *Vaccines* 11:579. <https://doi.org/10.3390/vaccines11030579>
34. Pan L, Luo R, Wang T, Qi M, Wang B, Sun M, Luo Y, Ji C, Sun Y, Qiu H-J (2021) Efficient inactivation of African swine fever virus by a highly complexed iodine. *Vet Microbiol* 263:109245. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2021.109245>
35. Gao Y, Sun S-Q, Guo H-C (2016) Biological function of Foot-and-mouth disease virus non-structural proteins and non-coding elements. *Virology J* 13:107. <https://doi.org/10.1186/s12985-016-0561-z>
36. Medina GN, Segundo FD-S, Stenfeldt C, Arzt J, de los Santos T (2018) The Different Tactics of Foot-and-Mouth Disease Virus to Evade Innate Immunity. *Front Microbiol* 9:2644. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02644>
37. Onodera T, Sakudo A, Sugiura K, Haritani M, Furusaki K, Kirisawa R (2023) Antiviral agents and disinfectants for foot-and-mouth disease (Review). *Biomed Rep* 19:57. <https://doi.org/10.3892/br.2023.1639>
38. Krug PW, Larson CR, Eslami AC, Rodriguez LL (2012) Disinfection of foot-and-mouth disease and African swine fever viruses with citric acid and sodium hypochlorite on birch wood carriers. *Vet Microbiol* 156:96–101. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2011.10.032>
39. Hakim H, Thammakarn C, Suguro A, Ishida Y, Kawamura A, Tamura M, Satoh K, Tsujimura M, Hasegawa T, Takehara K (2015) Evaluation of sprayed hypochlorous acid solutions for their virucidal activity against avian influenza virus through *in vitro* experiments. *J Vet Med Sci* 77:211–215. <https://doi.org/10.1292/jvms.14-0413>
40. Harper GJ, Hood AM, Morton JD (1958) Airborne micro-organisms: a technique for studying their survival. *J Hyg (Lond)* 56:364–370. <https://doi.org/10.1017/s0022172400037852>
41. Yu M, Mh K, Ma H, M Y, D S, H M, K T (2021) Virucidal activity of slightly acidic hypochlorous acid water toward influenza virus and coronavirus with tests simulating practical usage. *Virus res* 297:198383. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2021.198383>

Közlésre érke.: 2025. aug. 1.