Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics

Online ISSN: 2345-427X
Print ISSN: 2345-4288

Electrolyzed water: an effective technique to improve the quality of seafood products

Esmaeil Abdollahzadeh*

Corresponding Author, International Sturgeon Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran. E-mail: abdollahzadeh@rocketmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Extension Paper

Article history:
Received: 10.11.2022
Revised: 11.23.2022
Accepted: 11.26.2022

Keywords:
Electrolyzed water,
Food-borne pathogens,
Seafood products,
Shelf life

ABSTRACT

According to World Health Organization report, each year worldwide, unsafe food causes 600 million food-borne diseases and 420,000 deaths. Additionally, 30% of deaths occur in children under 5 years old. On the other hand, with the increase in people's awareness about nutritional value of food, the dietary trends have led to a continuously increasing demand for ready-to-eat foods. Hence, enhancing food safety is very important for the consumers. The application of modern food preservation methods is quite necessary in order to improve safety and extend shelf life with the lowest adverse effects on the sensory characteristics and nutritional value of seafood products. Non-thermal methods such as high pressure, ultrasonic, cold plasma techniques, and electrolyzed water have been developed to maintain food hygiene or disinfection. In recent years, the use of electrolyzed water (EW), which is obtained by electrolysis of dilute salt solution (NaCl) or hydrogen chloride (HCl), is known as an effective disinfection technique against a wide range of food pathogens. In this review, the effectiveness of using electrolyzed water in aquatic products, as well as their antimicrobial properties against food pathogens, have been investigated.

Cite this article: Abdollahzadeh, Esmaeil. 2023. Electrolyzed water: an effective technique to improve the quality of seafood products. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 12 (1), 163-174.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/japu.2022.20662.1714
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان

شاپا آنلاین: ۲۳٤٥-٤۲۷X
شاپا چاپی: ۲۳٤٥-٤۲۸۸

آب الکترولیز شده: روشی مؤثر در افزایش کیفیت محصولات شیلاتی

اسماعیل عبداله‌زاده*

نویسنده مسئول، انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. رایانامه: abdollahzadeh@rocketmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- ترویجی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۰۷/۱۹
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۹/۰۵

واژه‌های کلیدی:
آب الکترولیز شده،
پاتوژن‌های غذایی،
عمر نگهداری،
محصولات شیلاتی

چکیده

مطابق گزارش سازمان بهداشت جهانی هر ساله غذاهای غیرایمن موجب ٦۰۰ میلیون بیماری غذایی شده که از این میان ٤۲۰ هزار نفر جان خود را از دست می‌دهند. هم‌چنین ۳۰ درصد مرگ و میرها در کودکان زیر ۵ سال رخ می‌دهد. از سوی دیگر با افزایش سطح آگاهی مردم در خصوص حفظ ارزش غذایی، میزان تقاضا برای غذاهای کم‌تر فرآوری شده و آماده مصرف در حال افزایش است. بنابراین حفظ ایمنی غذایی از اهمیت بسیار ویژه‌ای برای مصرف‌کنندگان برخوردار است. استفاده از روش‌های مدرن نگهداری مواد غذایی به‌منظور افزایش مدت ماندگاری و افزایش ایمنی بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در ویژگی‌های حسی محصولات شیلاتی کاملاً ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو روش‌های غیرحرارتی مانند فشار بالا، اولتراسونیک، پلاسمای سرد و آب الکترولیز شده برای حفظ بهداشت مواد غذایی و یا ضدعفونی توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر، استفاده از آب الکترولیز شده (EW) که در واقع توسط الکترولیز محلول نمکی رقیق (NaCl) یا کلرید هیدروژن (HCl) به‌دست می‌آید، به‌عنوان روش مؤثر ضدعفونی علیه رنج وسیعی از پاتوژن‌ها شناخته شده است. در پژوهش مروری حاضر اثربخشی استفاده از آب الکترولیز شده در فرآورده‌های شیلاتی و آبزیان و هم‌چنین بررسی خواص ضد میکروبی آب الکترولیزشده علیه پاتوژن‌های غذایی مورد بررسی قرار گرفته است.

استناد: عبداله‌زاده، اسماعیل (۱۴۰۲). آب الکترولیز شده: روشی مؤثر در افزایش کیفیت محصولات شیلاتی. *نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان*، ۱۲ (۱)، ۱۷۴-۱۶۳.

DOI: 10.22069/japu.2022.20662.1714

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

با افزایش سطح آگاهی مردم در خصوص حفظ ارزش غذایی، میزان تقاضا برای غذاهای کم‌تر فرآوری‌شده و یا غذاهای خام پیوسته در حال افزایش است. بنابراین افزایش ایمنی محصولات غذایی که دارای نرخ فساد بالایی هستند (مانند آبزیان) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اما با این‌حال مطابق گزارش سازمان بهداشت جهانی هر ساله غذاهای غیرایمن موجب ٦٠٠ میلیون بیماری غذایی شده که از این میان ٤٢٠ هزار نفر جان خود را از دست می‌دهند. هم‌چنین ٣٠ درصد مرگ و میرها در کودکان زیر ٥ سال رخ می‌دهد. پاتوژن‌های بیماری‌های اسهالی مانند نور و ویروس، گونه‌های کمپیلوباکتر و سالمونلا جزء فراوان‌ترین عوامل بیماری‌های غذایی به‌شمار می‌روند (١). بهترین شیوه کاهش بیماری‌های ناشی از غذا، حصول اطمینان از ایمنی زنجیره تولید غذا است. بنابراین فرآیندهای تمیز کردن و ضدعفونی کردن جهت تولید غذاهای با کیفیت و ایمن از لحاظ بار میکروبی قبل از تحویل غذا به بازار مصرف جزء مهم‌ترین گام‌های سیستم حصب است.

تکنیک‌های متعددی برای ضدعفونی زنجیره تامین غذای معرفی شده‌اند. برخی از این روش‌ها متکی به ضدعفونی‌کننده‌های شیمیایی (مانند هیپوکریت، دی‌اکسیدکلرین، پراکسید هیدروژن، اسید هیدروکلریک، ازون و ...)، تیمارهای فیزیکی (حرارت و اشعه‌دهی و ...) و ترکیب این روش‌ها با هم هستند (٢). با این‌حال برخی از این روش‌ها دارای محدودیت‌های در هنگام استفاده برای غذاهای کم‌فرآوری شده هستند. به‌طور مثال باقی‌مانده مواد شیمیایی در محصول نهایی، کارایی پایین جهت مهار پاتوژن‌ها، اثرات مضر برای انسان، محیط زیست و/یا کیفیت غذا از جمله این محدودیت‌ها به شمار می‌آیند (٣). از این جهت هم برای تولیدکنندگان مواد غذایی و هم مصرف‌کنندگان تقاضای زیادی برای تکنیک‌های نوین ضدعفونی به منظور حصول اطمینان از ایمنی غذایی و تازگی محصولات کم‌فرآوری شده وجود دارد. در سال‌های اخیر روش‌های غیرحرارتی برای ضدعفونی و هم‌چنین افزایش زمان ماندگاری محصولات غذایی پدیدار شده‌اند. در این میان می‌توان به روش‌های نگهداری زیستی و استفاده از پروبیوتیک‌ها (٤ و ٥)، استفاده از ترکیبات گیاهی (٦)، فشار بالا (٧)، استفاده از فیلم‌های ضدمیکروب (٨)، التراسونیک (٩)، جریان الکتریکی و پلاسمای سرد (١٠) اشاره نمود.

علاوه بر این استفاده از آب الکترولیز شده (EW) که توسط الکترولیز محلول نمکی رقیق (NaCl) یا کلرید هیدروژن (HCl) به‌دست می‌آید، به عنوان روش مؤثر ضدعفونی علیه رنج وسیعی از پاتوژن‌ها شناخته شده است. اثربخشی عمده آب الکترولیز شده به‌دلیل وجود ترکیبات کلره مانند اسید هیپوکلروس (HClO) است (١١). مطالعات متعددی در خصوص عملکرد ضد میکروبی ترکیبات آب هیدرولیز شده علیه باکتری‌های اشریشیا کلی، لیستریا مونوسیتوژنز، سالمونلا تیفی‌موریوم، استافیلوکوکوس ارئوس و ویبریو پاراهمولیتیکوس منتشر شده است (١٢، ١٣ و ١٤). در حال حاضر آب الکترولیز شده به عنوان یک ماده قانونی جهت ضدعفونی محصولات غذایی در برخی کشورها مانند ایالات متحده آمریکا، ژاپن و کره مورد استفاده قرار می‌گیرد (١٥). آب الکترولیز شده به‌دلیل هزینه تولید پایین و سهولت تولید، گاززدایی کلر و غیرخورنده بودن برای تجهیزات تولید مورد توجه قرار گرفته است (١٦). تاکنون مطالعات زیادی بر روی کارایی فعالیت ضد میکروبی آب الکترولیز شده در محصولات غذایی مختلف مانند میوه‌ها (١١)، سبزیجات (١٥ و ١٨)، گوشت (١٩)، ماکیان (٢٠) و آبزیان (٢١) انجام شده است.

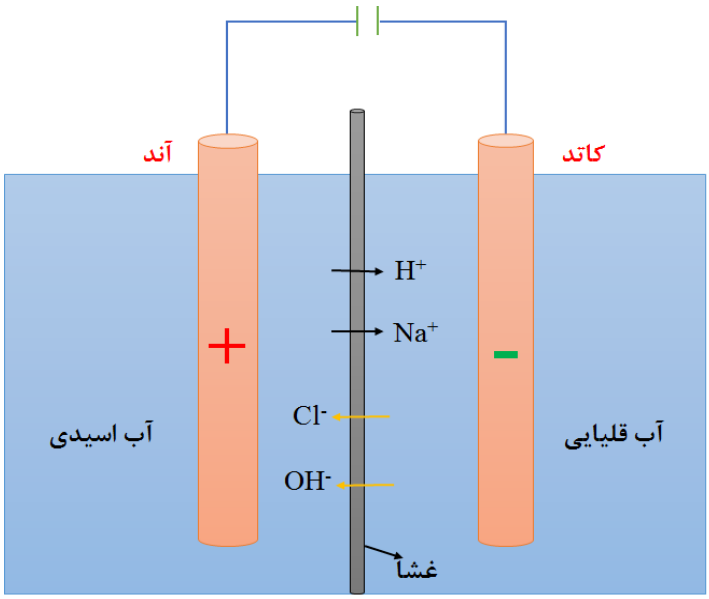
مکانیسم تولید: آب الکترولیز شده فاقد هر گونه ماده شیمیایی مضر برای سلامتی انسان و محیط زیست بوده و تنها از طریق الکترولیز آب و نمک طعام تولید می‌گردد (۲۲). آب الکترولیز شده به وسیله الکترولیز محلول NaCl با استفاده از یک محفظه الکترولیز حاوی غشای جداکننده (دیافراگم) بین الکترودهای کاتد و آند تولید می‌شود. در نتیجه الکترولیز یون‌های با بار مثبت (هیدروژن و سدیم) به سمت کاتد برای گرفتن الکترون حرکت می‌کنند و نهایتاً تبدیل به گاز هیدروژن (H_2) و هیدرواکسید سدیم (NaOH) می‌شوند (شکل ۱). از سوی دیگر قطب مثبت (آند) یون‌های کلر و OH (دارای بار منفی) را جذب خود می‌کند (۲۲). از این‌رو یون‌های با بار منفی (کلرید و هیدرواکسید) پس از حرکت به سمت آند، الکترون از دست داده و سپس به گاز کلر (Cl_2)، گاز اکسیژن (O_2) و یون هیپوکلریت (OCL^-)، اسید هیپوکلروس (HOCl) و اسید هیدروکلراید (HCl) تبدیل می‌شوند. بنابراین در محل قطب مثبت آب الکترولیز شده اسیدی با pH پایین، با پتانسیل بالای اکسیداسیون احیا (ORP بیش از ۱۰۰۰ mV) و غلظت کلر در دسترس (۹۰-۱۰ ppm) تولید می‌شود (۲۳). در حال حاضر، دستگاه‌های تولید آب الکترلیز شده در مقیاس آزمایشگاهی و مقیاس صنعتی در دسترس هستند. شکل ۲ ژنراتور صنعتی تولید آب الکترولیز شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- انواع آب الکترولیز شده و خصوصیات آن.

نوع آب الکترولیز شده	pH
آب الکترولیز شده اسیدی	۲-۳
آب الکترولیز شده اندکی اسیدی	۵-۶/۵
آب الکترولیز شده خنثی	۶/۵-۷/۵
آب الکترولیز شده قلیایی	۱۰-۱۳

انواع آب الکترولیز شده: با توجه به نحوه فرآیند تولید و pH محصول، انواع مختلف آب الکترولیز شده تولید می‌گردد. کلر در شکل HOCl بیش از ۸۰ برابر قوی‌تر از OCl^- در غلظت برابر است. در pH قلیایی HOCl به OCl^- تبدیل می‌شود اما در pH اسیدی HOCl به Cl_2 تفکیک خواهد شد. برخی اوقات جهت تولید آب الکترولیز شده خنثی (NEW) و ORP در حدود ۷۵۰-۹۰۰ mV از آب الکترولیز شده قطب آند استفاده می‌شود اما محصول با یون‌های هیدرواکسید مخلوط می‌گردد و یا این‌که تولید این آب با استفاده از روش تولید بدون غشای جداکننده انجام می‌پذیرد (۲۲). بنابراین بسته به تغییرات در سیستم تولیدکننده میزان pH و ORP آب الکترولیز شده خنثی متغیر بوده و عمده عناصر ضدعفونی‌کننده آن HOCl و HCl است (۱۸). علاوه بر این، آب الکترولیز شده اندکی اسیدی (SAEW) با محدوده pH بین ۵ تا ۶/۵ و ORP برابر با ۸۰۰-۹۰۰ mV با استفاده از الکترولیز HCl یا در ترکیب با NaCl در یک سیستم الکترولیز بدون غشا نیز تولید شده است. از این آب نیز به دلیل تأثیرات مطلوب، تولید آسان و

با هزینه پایین و کارایی ضدعفونی‌کنندگی بالای آن در صنایع غذایی کاربرد دارد. علاوه بر آب الکترولیز شده اسیدی و خنثی، نوع دیگری از آب الکترولیز شده وجود دارد که دارای pH بیش از ۱۰ است که به آن آب الکترولیز شده بازی اطلاق می‌شود (جدول ۱).



شکل ۱- تصویر شماتیک تولید آب الکترولیز شده.

شکل ۲- نمونه‌ای از ژنراتور صنعتی تولید آب الکترولیز شده.

مزایا و معایب آب الکترولیز شده: آب الکترولیز شده یک تکنیک ضدعفونی نوین و سازگار با محیط زیست است که تنها با استفاده از NaCl و آب مقطر تولید می‌شود. ویژگی‌های مثبت استفاده از آب الکترولیز شده شامل موارد متعددی است که از جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: ۱- سازگاری با محیط زیست و بدون آسیب یا ضرر به انسان، ۲- امکان تولید در محل که این موضوع از مشکلات مربوط به کاهش اثربخشی حین نگهداری و حمل و نقل می‌کاهد، ۳- عملکرد با طیف وسیع میکروارگانیسم‌ها و ٤- عدم اثر منفی بر روی ویژگی‌های حسی و کیفی غذا (۲۲ و ۲۳). اما باید توجه داشت استفاده از آب الکترولیز شده دارای معایبی نیز است. با توجه به این‌که آب الکترولیز شده حاوی ترکیبات NaCl است بنابراین به صورت کامل عاری از مواد شیمیایی نیست. هم‌چنین ترکیب مؤثره اصلی آب الکترولیز شده HOCl است که با افزایش دمای محصول و زمان نگهداری از بین می‌رود که این موضوع سبب کاهش قدرت مهارکنندگی EW خواهد شد (٢٤). نشت گاز کلر و هیدروژن در خلال پروسه تولید آب الکترولیز شده برای اپراتور و محیط اطراف مخاطره‌آمیز است بنابراین باید سیستم تهویه مطلوبی در محل تولید استقرار یابد. با توجه به این‌که آب الکترولیز شده دارای کلر آزاد و مقدار بالای ORP و pH اسیدی است این موارد ممکن است باعث تحریک پوست دست و بعضاً خردگی جزیی تجهیزات گردد (٢٤).

روش‌های استفاده از آب الکترولیز شده در آبزیان: آب الکترولیز شده به عنوان ضدعفونی‌کننده جدید در بسیاری از کشورها مانند ژاپن، چین و ایالات متحده آمریکا در صنایع شیلاتی مورد استفاده قرار گرفته است. آب الکترولیز شده با کاهش بار میکروبی فرآورده، کیفیت محصولات را افزایش می‌دهد. علاوه‌بر این، مطالعات اخیر نیز نشان می‌دهد این تکنولوژی نوین می‌تواند میزان تولید بیوفیلم باکتری را کنترل کند (۲۵). خلاصه این پژوهش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به خواص ضد میکروبی قوی آب الکترولیز شده، از این ماده عمدتاً در غلظت‌های کم‌تر از ppm ۱۰۰ استفاده می‌شود. هر چند در مطالعه‌ای که بر روی گربه‌ماهی انجام شده است غلظت‌های بالاتر نیز (ppm ۳۰۰) مورد استفاده قرار گرفته است (۳۰). مدت زمان در معرض قرارگیری محصولات شیلاتی با آب الکترولیز شده عمدتاً کم‌تر از ۱۵ دقیقه می‌باشد (۲۸ و ۲۹). با توجه به خواص سمی ترکیبات کلره، آب الکترولیز شده عمدتاً به‌صورت سطحی در محصولات شیلاتی استفاده می‌شود. بنابراین غوطه‌وری و یا استفاده از یخ حاوی آب الکترولیز شده به‌عنوان روش‌های مرسوم استفاده از این تکنولوژی مطرح هستند. در برخی پژوهش‌های اخیر از روش‌های تلفیقی مانند اشعه ماورای‌بنفش و اولتراسونیک هم‌زمان با آب الکترولیز شده استفاده شده است (۳۵ و ٤۲).

جدول ۲- استفاده از آب الکترولیز شده جهت کنترل باکتری‌های مولد فساد و بیماری‌زا در محصولات شیلاتی.

نوع فرآورده	نوع آب الکترولیزشده	غلظت‌های مورد استفاده (پی‌پی‌ام)	میکروارگانیسم هدف	غلظت باکتری تلقیح‌شده	روش تیماربندی	دوره مورد استفاده	منبع
ماهی تن	AEW و گاز CO	۱۰، ۵۰ و ۱۰۰	باکتری‌های هوازی	۳/۱٤ Log CFU/g	غوطه‌وری	۵ دقیقه	۲۸
ماهی تن	AEW	٤۱	باکتری‌های هوازی	کم‌تر از ۳ Log CFU/ml	غوطه‌وری	۱۵ دقیقه	۲۹
گربه‌ماهی	AEW	۳۰۰	لیستریا مونوسیتوژنز، سالمونلا	۵ Log CFU/g	شستشو	۳ دقیقه	۳۰
تیلاپیا	NEW و PROSAN	۱۵۰	لیستریا اینوکا	٦ تا ۷ Log CFU/g	شناور در یخ	۷۲ ساعت	۳۱
کپور	BAE و AEW	٤۰	باکتری‌های هوازی	٦ Log CFU/g	غوطه‌وری	۱۵ دقیقه	۳۲
قزل‌آلا	AEW	۳۸	باکتری‌های هوازی	۹ Log CFU/ml	غوطه‌وری	۵ الی ۱۰ دقیقه	۳۳
میگو	AEW	٦٦	ویبریو پاراهمولیتیکوس	۹ Log CFU/ml	غوطه‌وری	۲/۵ دقیقه	۱۷
میگو	AEW	٤٤	باکتری‌های هوازی	٦ Log CFU/ml	شناور در یخ	۷ روز	۳٤
سالمون	AEW	٦۵	لیستریا مونوسیتوژنز، باکتری‌های هوازی و کلیفرم و کپک و مخمر	لیستریا (٦ log CFU در هر گرم)، باکتری‌های هوازی ٤ الی ۵/۹ لوگ)، کلیفرم‌ها (۲/۸ الی ٤ لوگ) و کپک و مخمر (۲/۹ الی ۱/۳ لوگ در هر گرم)	غوطه‌وری در تلفیق با اشعه ماوراءبنفش و اولتراسونیک	۵ دقیقه	۳۵
سالمون دودی‌شده	AEW	٦۰	لیستریا مونوسیتوژنز	۸/٤۸ Log CFU/g	غوطه‌وری	۱۰ دقیقه	۳٦
سالمون	NEW و AEW	٦۰	لیستریا مونوسیتوژنز	۷/۷ Log CFU/g	غوطه‌وری	۱۰ دقیقه	۳٦
ماهی شاد	ویبریو پاراهمولیتیکوس و ای کلای در گوشت ماهی شاد	۱۵ و ۳۰	ویبریو پاراهمولیتیکوس و ای کلای	کاهش معنی‌دار	در تلفیق با التراسونیک	۵۰ تا ۱۰۰ دقیقه التراسونیک	٤۲

محصولات شیلاتی و نگهداری توسط آب الکترولیز شده: محصولات شیلاتی مانند ماهی و میگو منابع پروتئینی ارزشمندی برای جیره غذایی بوده و قادرند نیازهای آمینه اسیدی انسان را به صورت کامل تامین کنند. این محصولات ارزشمند در طی فرآیندهای تولید، حمل و نقل و فروش توسط باکتری‌های مولد فساد و یا باکتری‌های بیماری‌زا آلوده می‌شوند. این باکتری‌ها باعث کاهش کیفیت و کاهش عمر ماندگاری آبزیان شده و از سوی دیگر برای سلامتی انسان مخاطراتی را ایجاد می‌کنند (۸، ۱۵ و ۲۱). بنابراین گسترش تکنیک‌های مفید و پذیرفته شده به‌منظور نگهداری و حفظ بهداشت محصولات شیلاتی دارای ارزش بسیار زیادی برای صنایع غذایی و بهداشت عمومی جامعه است. تاکنون مطالعات متعددی جهت افزایش ایمنی و کیفیت آبزیان با کمک آب الکترولیز شده انجام شده است.

در مطالعه‌ای اثر یخ حاصل از آب الکترولیز شده اسیدی بر کاهش رشد باکتری‌های سرمادوست و باکتری‌های هوازی و هم‌چنین بازهای ازته فرار (TVB-N) و تیوباربیتوریک اسید (TBA) در ماهی سوری اقیانوس آرام (*Colorabis saira*) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد آب الکترولیز شده در مقایسه با آب معمولی می‌تواند باعث افزایش دوره ماندگاری به مدت ٤ روز گردد (٢٦). در مطالعه‌ای دیگر یخ آب الکترولیز شده به‌عنوان یک تیمار مناسب برای کاهش باکتری‌های تولیدکننده هیستامین پوست ماهی معرفی گردید (۲۷). در پژوهشی که بر روی ماهی سالمون و تن ماهی انجام پذیرفت، به‌کارگیری آب الکترولیز شده (غلظت ppm ۱۰۰ برای مدت ۱۲۰ دقیقه) موجب کاهش جمعیت *Enterobacter aerogenes* و *Morganella morganii* (باکتری‌های عامل تولید هیستامین) به میزان ۱/۳ تا ۲/۲ $\log CFU/cm^2$ شد (۲۷).

در پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۱۵) از آب الکترولیز شده جهت نگهداری میگو استفاده شد. در این پژوهش شاخص‌های میکروبی، تغییرات pH، تغییرات رنگ و هم‌چنین میزان TVB-N مورد سنجش قرار گرفت (٣٤). نتایج نشان داد استفاده از آب الکترولیز شده سبب مهار تکثیر باکتری‌ها و شکل‌گیری بازهای ازته فرار و تغییرات رنگ می‌گردد. در پژوهش دیگر توسط میکس- کراجنیک و همکاران (٢٠١٦) آب الکترولیز شده در تلفیق با اشعه ماوراءبنفش و اولتراسونیک موجب کاهش معنی‌دار باکتری لیستریا مونوسیتوژنز در مقایسه با گروه شاهد شد (۳۵).

در پژوهش مک‌کارتی و بورخارت (۲۰۱۲) اثر آب الکترولیز شده (۵۰ ppm) علیه *Morganella morganii* و *Listeria monocytogenes* بر روی سطوح ماهی ماهی و سالمون مورد بررسی قرار گرفت (۳۷). نتایج این پژوهش نشان داد آب الکترولیز شده موجب کاهش جمعیت باکتری‌های مورد مطالعه به میزان ۲ $\log CFU/g$ گردید. نتایج مطالعه دیگری که توسط خزندی و همکاران (۲۰۱۷) بر روی فیله ماهی سالمون انجام شد، نشان داد که استفاده از آب الکترولیز شده منجر به افزایش مدت زمان ماندگاری (۲ تا ٤ روز) و کاهش کل جمعیت میکروبی موجود در فیله می‌گردد (۳۸).

فشیانو و همکاران (۲۰۱۰) اثر یخ حاصل از آب الکترولیز شده را برای مهار رشد جمعیت میکروبی فیله تیلاپیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد آب الکترولیز شده قادر است جمعیت میکروبی *E. coli*، *L. innocua* و *Pseudomonas putida* را در ماهی تیلاپیا طی ۷۲ ساعت نگهداری کاهش دهد (۳۱).

در بررسی که بر روی اثربخشی آب الکترولیز شده خنثی با pH ٦/٤ (با غلظت ppm ۳۰۰) بر روی فیله

گربه‌ماهی انجام پذیرفت نتایج نشان داد شستشو با این آب قادر به کاهش جمعیت لیستریا مونوسیتوژنز نبود اما تیمار ۳ دقیقه‌ای علیه باکتری سالمونلا خاصیت باکتری‌کشی داشت (۳۰).

در پژوهش دیگری اثر تلفیقی آب الکترولیز شده اسیدی و CO بر ویژگی‌های میکروبی و شیمیایی تن ماهی مورد ارزیابی قرار گرفت. آب الکترولیز شده به همراه منو اکسید کربن اثر ضد میکروبی مناسبی علیه باکتری‌های هوازی داشت و هم‌چنین میزان TVB-N در خلال دوره نگهداری کم‌تر از سایر تیمارهای مورد آزمایش بود. استفاده تلفیقی از تیمار مذکور اثر نامطلوبی بر رنگ تن ماهی نداشت (۲۸). در پژوهش دیگری اثر تلفیقی آب الکترولیز شده اسیدی و بازی علیه دو پاتوژن لیستریا مونوسیتوژنز و اشریشیا کلای در ماهی سالمون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد هر چند استفاده از آب الکترولیز شده اسیدی جمعیت میکروبی را کاهش می‌دهد اما استفاده از آب الکترولیز شده بازی به‌صورت توأم، میزان فعالیت ضد میکروبی را افزایش نداد (۳۹).

در پژوهشی اثر آب الکترولیز شده اسیدی بر دو باکتری اشریشیا کلی و ویبریو پاراهمولیتیکوس در فیله ماهی تیلاپیا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد استفاده از آب الکترولیز شده حداکثر ۱/۵ $\log CFU/cm^2$ باکتری ویبریو و ۰/۷ لوگ باکتری ای کلای را کاهش می‌دهد. در این پژوهش مشخص شد هم زدن به آب الکترولیز شده جهت واکنش بیش‌تر با سلول‌های باکتریایی کمک زیادی می‌کند (۴۰).

اخیراً در مطالعه‌ای از آب الکترولیز شده اندکی اسیدی به منظور نگهداری میگوی وانامی استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد استفاده از یخ حاصل از آب الکترولیز شده منجر به کاهش رشد باکتری آئروموناس، باکتری‌های تولیدکننده سولفید هیدروژن، باکتری‌های لاکتیک اسید و سودوموناس‌ها می‌شود (۴۱). در پژوهش پارک و ها (۲۰۱۵) اثر آب الکترولیز شده در تلفیق با اولتراسونیک علیه باکتری‌های ویبریو پاراهمولیتیکوس و ای کلای در گوشت ماهی شاد (*Konosirus punctatus*) مورد بررسی قرار گرفت. کاربرد آب الکترولیز شده (۱۵ یا ۳۰ ppm) و التراسونیک (۵۰ تا ۱۰۰ دقیقه) به صورت تلفیقی اثرات هم‌افزایی مطلوبی علیه باکتری‌های مورد مطالعه داشتند (۴۲).

مکانیسم ضد میکروبی آب الکترولیز شده: به‌صورت کلی پتانسیل اکسیداسیون- احیا (ORP) به عنوان یک شاخص قدرت اکسیدکنندگی یا احیاکنندگی ترکیبات شیمیایی مطرح است. محلول‌های با ORP بالاتر قدرت اکسیداسیونی بیش‌تری نسبت به محلول‌های با ORP کم‌تر دارند. محدوده ORP بهینه برای رشد باکتری‌های هوازی در حدود ۲۰۰+ تا ۸۰۰+ mV است. اما این میزان برای باکتری‌های بی‌هوازی بین ۵۰- تا ۵۵۰- mV گزارش شده است. بنابراین آب الکترولیز شده به دلیل دارا بودن ORP ۹۰۰+ تا بیش‌تر از ۱۰۰۰+ mV دارای خصوصیات ضدعفونی‌کنندگی قوی هستند (۴۳). علاوه بر این pH که در واقع خود تعیین‌کننده نوع و شکل حضور ترکیبات کلره در آب الکترولیز شده است، در قدرت ضد میکروبی آب الکترولیز شده تأثیر زیادی دارد. به‌عنوان نمونه در pH بالا شکل عمده کلر در آب الکترولیز شده به صورت یون‌های هیپوکلریت است اما در pH نزدیک خنثی کلر به صورت HOCl و در pH پایین کلر به صورت Cl_2 خواهد بود. با توجه به این‌که ORP ترکیب HOCl در حدود ۸۰ برابر یون هیپوکلریت است، می‌توان بیان نمود ترکیب HOC قوی‌ترین فاکتور اکسیداسیونی آب الکترولیز شده است (۴۳). باکتری‌ها توسط پتانسیل اکسیداسیون احیا بالای HOCl از بین می‌روند. این ترکیب باعث پارگی

غشا و اختلال در جریان الکترونی شده و بر تولید آدنوزین تری فسفات (ATP) اثر می‌گذارد. بنابراین فرآیندهای متابولیسمی سلول دچار مشکل می‌شود. هم‌چنین HOCl به‌صورت غیرفعال در دیواره سلولی نفوذ می‌کند و وارد لایه دوگانه لیپیدی میکروبی می‌شود و در آن‌جا باعث اکسیداسیون می‌شود. در مقابل یون هیپوکلریت تنها بر روی دیواره سلولی اثر می‌گذارد (۱۴ و ۴۳).

نتیجه‌گیری

آب الکترولیز شده به دلیل روش تولید آسان و تنوع تولید انواع مختلف آن مورد توجه صنایع غذایی قرار گرفته است. افزایش دوره ماندگاری محصولات شیلاتی مستلزم استفاده از یک سیستم یکپارچه از مراحل اولیه فراوری تا رسیدن محصول به دست مصرف‌کننده است. کاهش بار میکروبی اولیه محصولات یکی از مهم‌ترین اقدامات لازم است. با توجه به این‌که آب الکترولیز شده می‌تواند در محل مصرف نیز تولید گردد، هزینه‌های حمل و نقل و نگهداری آن به شدت کاسته می شود. علاوه بر این می‌توان از آب الکترولیز شده در دماهای مختلف جهت کاهش بار میکروبی استفاده نمود. در این مطالعه مروری مشخص گردید روش‌های غوطه‌وری و هم‌چنین اسپری کردن به‌صورت رایج جهت استفاده از آب الکترولیز شده در محصولات شیلاتی قابل‌توصیه است. در مجموع می‌توان بیان نمود که استفاده از آب الکترولیز شده بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در ویژگی‌های حسی، استراتژی جدیدی است که می‌تواند به سهولت باعث افزایش ایمنی فرآورده‌های شیلاتی گردد.

منابع

1. WHO. 2015. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015.
2. Zhang, C., Lu, Z., Li, Y., Shang, Y., Zhang, G., and Cao, W. 2011. Reduction of *Escherichia coli* O157: H7 and *Salmonella enteritidis* on mung bean seeds and sprouts by slightly acidic electrolyzed water. Food Control, 22:792-796.
3. Ramos, B., Miller, F.A., Brandão, T.R.S., Teixeira, P., and Silva, C.L.M. 2013. Fresh fruits and vegetables-an overview on applied methodologies to improve its quality and safety. Innov. Food. Sci. Emerg. 20: 1-15.
4. Abdollahzadeh, E., Rezaei, M., and Hosseini, H. 2014. Antibacterial activity of plant essential oils and extracts: The role of thyme essential oil, nisin, and their combination to control *Listeria monocytogenes* inoculated in minced fish meat. Food control. 35: 1. 177-83.
5. Abdollahzadeh, E., Ojagh, S.M., Fooladi, A.A.I., Shabanpour, B., and Gharahei, M. 2018. Effects of probiotic cells on the mechanical and antibacterial properties of sodium-caseinate films. Appl. Food Biotechnol. 5: 3. 155-162.
6. Abdollahzadeh, E., Mahmoodzadeh, Hosseini, H., and Imani Fooladi, A.A. 2018. Antibacterial activity of agar-based films containing nisin, cinnamon EO, and ZnO nanoparticles. J. Food Saf. 38: 3. 12440.
7. Roobab, U., Fidalgo, L.G., Arshad, R.N., Khan, A.W., Zeng, X.A., Bhat, Z.F., Bekhit, A.E.D.A., Batool, Z., and Aadil, R.M. 2022. High-pressure processing of fish and shellfish products: Safety, quality, and research prospects. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 21: 3297-3325.
8. Abdollahzadeh, E., Nematollahi, A., and Hosseini, H. 2021. Composition of antimicrobial edible films and methods for assessing their antimicrobial activity: A review. Trends Food Sci. Technol. 110: 291-303.

9.Shi, Z., Zhong, S., Yan, W., Liu, M., Yang, Z., and Qiao, X. 2019. The effects of ultrasonic treatment on the freezing rate, physicochemical quality, and microstructure of the back muscle of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). LWT. 111: 301-308.
10.Rathod, N.B., Ranveer, R.C., Bhagwat, P.K., Ozogul, F., Benjakul, S., Pillai, S., and Annapure, U.S. 2021. Cold plasma for the preservation of aquatic food products: An overview. Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 20: 4407-4425.
11.Ding, T., Ge, Z., Shi, J., Xu, Y.T., Jones, C.L., and Liu, D.H. 2015. Impact of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) and ultrasound on microbial loads and quality of fresh fruits. LWT. 60: 1195-1199.
12.Park, E.J., Alexander, E., and Taylor, G.A. 2009. The decontaminative effects of acidic electrolyzed water for Escherichia coli O157:H7, *Salmonella typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on green onions and tomatoes with differing organic demands. Food Microbiol. 26: 4. 386-390.
13.Issa-Zacharia, A., Kamitani, Y., and Tiisekwa, A. 2010. In vitro inactivation of Escherichia coli, *Staphylococcus aureus* and *Salmonella* spp. using slightly acidic electrolyzed water. J. Biosci. Bioeng. 110: 3. 308-313.
14.Quan, Y., Choi, K.D., and Chung, D. 2010. Evaluation of bactericidal activity of weakly acidic electrolyzed water (WAEW) against *Vibrio vulnificus* and *Vibrio parahaemolyticus*. Int. J. Food Microbiol. 136: 3. 255-260.
15.Xuan, X.T., Fan, Y.F., and Ling, J.G. 2017. Preservation of squid by slightly acidic electrolyzed water ice. Food Control. 73: 1483-14893.
16.Jadeja, R., and Hung, Y.C. 2014. Efficacy of near neutral and alkaline pH electrolyzed oxidizing water to control *Eschericchia coli* O 157:H7 and *Salmonella typhimurium* DT 104 from beef hides. Food Control. 41: 17-20.
17.Xuan, X.T., Wang, M.M., and Ahn, J. 2016. Storage stability of slightly acidic electrolyzed water and circulating electrolyzed water and their property changes after application. J. Food Sci. 81: 3. 610-617.
18.Rahman, S.M.E., Ding, T., and Oh, D.W. 2010. Inactivation effect of newly developed low concentration electrolyzed water and other sanitizers against microorganisms on spinach. Food Control. 21: 10. 1383-1387.
19.Rahman, S.M.E., Wang, J., and Oh, D.H. 2013. Synergistic effect of low concentration electrolyzed water and calcium lactate to ensure microbial safety, shelf life and sensory quality of fresh pork. Food Control. 30: 1. 176-183.
20.Rahman, S.M.E., Park, J.Y., and Song, K.Y. 2011. Effects of slightly acidic low concentration electrolyzed water on microbiological, physicochemical, and sensory quality of fresh chicken breast meat. J. Food Sci. 71: 1. 35-41.
21.Wang, J.J., Sun, W.S., and Jin, M.T. 2014. Fate of *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp after acidic electrolyzed water treatment. Int. J. Food Microbiol. 179: 50-56.
22.Lu, L., Guo, H., Kang, N., He, X., Liu, G., Li, J., He, X., Yan, X., and Yu, H. 2022. Application of electrolysed water in the quality and safety control of fruits and vegetables: A review. Int. J. Food Sci. 57: 5698-5711.
23.Chakka, A.K., Sriraksha, M.S., and Ravishankar, C.N. 2021. Sustainability of emerging green non-thermal technologies in the food industry with food safety perspective: A review. LWT, 151: 112140.
24.Huang, Y.R., Hung, Y.C., and Hsu, S.Y. 2008. Application of electrolyzed water in the food industry. Food Control. 19: 4. 329-345.
25.Han, Q., Song, X.Y., and Zhang, Z.H. 2017. Removal of foodborne pathogen biofilms by acidic electrolyzed water. Front. Microbiol. 8: 988.
26.Kim, W.T., Lim, Y.S., and Shin, I.S. 2006. Use of electrolyzed water ice for preserving freshness of pacific saury (*cololabis saira*). J. Food Prot. 69: 9. 2199-2204.

27. Phuvasate, S., and Su, Y.C. 2010. Effects of electrolyzed oxidizing water and ice treatments on reducing histamine-producing bacteria on fish skin and food contact surface. Food Control. 21: 3. 286-291
28. Huang, Y.R., Shiau, C.Y., Hung, Y.C., and Hwang, D.F. 2006. Change of hygienic quality and freshness in tuna treated with electrolyzed water and carbon monoxide gas during refrigerated and frozen storage. J. Food Sci. 71: 4. 127-133.
29. Abou-Taleb, M., and Kawai, Y. 2008. Shelf life of semifried tuna slices coated with essential oil compounds after treatment with anodic electrolyzed NaCl solution. J. Food Prot. 71: 4. 770-774.
30. Rajkowski, K.T., and Sommers, C.H. 2012. Effect of anolyte on background microflora, *salmonella*, and *Listeria monocytogenes* on catfish fillets. J. Food Prot. 75: 4. 765-770.
31. Feliciano, L., Lee, J., Lopes, J.A., and Pascall, M.A. 2010. Efficacy of sanitized ice in reducing bacterial load on fish fillet and in the water collected from the melted ice. J. Food Sci. 75: 4. 231-238.
32. Mahmoud, B.S.M., Yamazaki, K., Miyashita, K., Il-Shik, S., Dong-Suk, C., and Suzuki, T. 2004. Decontamination effect of electrolysed NaCl solutions on carp. Lett. Appl. Microbiol. 39: 2. 169-173.
33. Al-Holy, M.A., and Rasco, B.A. 2015. The bactericidal activity of acidic electrolyzed oxidizing water against *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella Typhimurium*, and *Listeria monocytogenes* on raw fish, chicken and beef surfaces. Food control. 54: 317-321.
34. Wang, M., Wang, J.J., and Sun, X.H. 2015. Preliminary mechanism of acidic electrolyzed water ice on improving the quality and safety of shrimp. Food Chem. 176: 333-341.
35. Mikš-Krajnik, M., Feng, L.X.J., Bang, W.S., and Yuk, H.G. 2017. Inactivation of *Listeria monocytogenes* and natural microbiota on raw salmon fillets using acidic electrolyzed water, ultraviolet light or/and ultrasounds. Food Control. 74: 54-60.
36. Ovissipour, M., Shiroodi, S.G., Rasco, B., Tang, J., and Sablani, S.S. 2018. Electrolyzed water and mild-thermal processing of Atlantic salmon (*Salmo salar*): Reduction of *Listeria monocytogenes* and changes in protein structure. Int. J. Food Microbiol. 276: 10-19.
37. McCarthy, S., and Burkhardt, I.I.I.W. 2012. Efficacy of electrolyzed oxidizing water against *Listeria monocytogenes* and *Morganella morganii* on conveyor belt and raw fish surfaces. Food Control. 24: 214-219.
38. Khazandi, M., Deo, P., and Ferro, S. 2017. Efficacy evaluation of a new water sanitizer for increasing the shelf life of Southern Australian King George whiting and Tasmanian Atlantic Salmon fillets. Food Microbiol. 68: 51-60.
39. Ozer, N.P., and Demirci, A. 2006. Electrolyzed oxidizing water treatment for decontamination of raw salmon inoculated with *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* Scott A and response surface modeling. J. Food Eng. 72: 234-241.
40. Huang, Y.R., Hsieh, H.S., Lin, S.Y., Lin, S.J., Hung, Y.C., and Hwang, D.F. 2006. Application of electrolyzed oxidizing water on the reduction of bacterial contamination for seafood. *Food control*. 17: 987-993.
41. He, Y., Xie, Z., Xu, Y., Guo, C., Zhao, X., and Yang, H. 2022. Effect of slightly acid electrolysed water ice on metabolite and volatilome profile of shrimp (*Penaeus vannamei*) during cold storage. Food Control. 109421.
42. Park, S.Y., and Ha, S.D. 2015. Reduction of *Escherichia coli* and *Vibrio parahaemolyticus* counts on freshly sliced shad (*Konosirus punctatus*) by combined treatment of slightly acidic electrolyzed water and ultrasound using response surface methodology. Food bioproc. Tech. 8: 1762-1770.
43. Dewi, F.R., Stanley, R., Powell, S.M., and Burke, C.M. 2017. Application of electrolysed oxidising water as a sanitiser to extend the shelf-life of seafood products: a review. J. Food Sci. Technol. 54: 5. 1321-1332.