شبکه آزمایشگاهی فناوری نانو

فصلنامه

دانش آزمایشگاهی ایران

ISSN 2538-3450

سال دهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱ ■ شماره پیاپی ۳۷

دستگاه سیال فوق بحرانی و کاربرد آن در استخراج ترکیبات زیست فعال

رونق و تنوع خدمات شبکه آزمایشگاهی در سال ۱۴۰۰

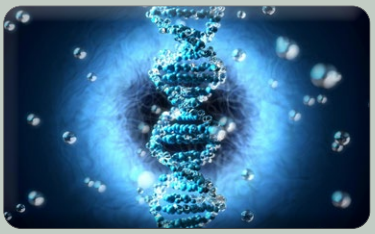
بخش بین‌الملل شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی و...

اهمیت آبگریزی و آزمون‌های مربوط به آن در صنعت عایق‌های الکتریکی

روش ضربدری روشی ساده و سریع در حل مسائل محلول‌سازی

کاربردهای فناوری پلاسمای سرد در صنایع غذایی

مروری بر مفاهیم و آزمون چقرمگی شکست



بررسی mtDNA در سکانس‌ها و روش‌های آزمایشگاهی ژنتیکی مورد استفاده در مطالعات ژنتیک باستان

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir

کاربردهای فناوری پلاسمای سرد در صنایع غذایی

نویسنده
سبا بلقیسی
*S.Belgheisi@gmail.com

چکیده

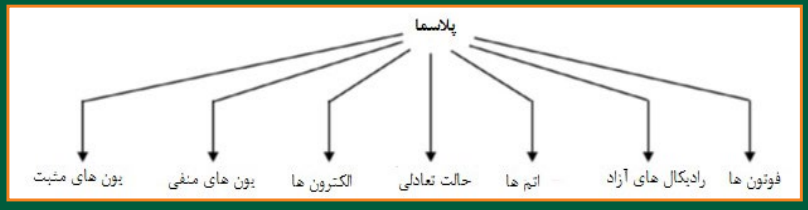
اولین کاربرد آزمایشگاهی پلاسما در بخش صنایع غذایی مربوط به مطالعه امکان غیر فعال‌سازی میکرو ارگانیسم‌های نامطلوب از سطح مواد غذایی حساس به حرارت مانند میوه و سبزیجات تازه، گوشت و تخم مرغ بود. تیمار پلاسما را می‌توان به‌عنوان جایگزینی بالقوه برای مواد شیمیایی (به عنوان نمونه، تیمار با کلر) و یا روش‌های فیزیکی (به‌عنوان مثال فشار بالا، میدان الکتریکی پالسی، اشعه دهی) برای ضدعفونی سطحی در نظر گرفت. از مزایای استفاده از فرآیندهای پلاسما می‌توان به کارایی بالا در دماهای پایین (به‌طور کلی <۷۰ درجه سانتی‌گراد)، تولید لحظه‌ای، تاثیر کم روی ماتریس داخلی محصول، عدم نیاز به آب یا حلال و عدم باقی ماندن هیچ گونه ضایعات اشاره کرد. همچنین فرآوری پلاسما می‌تواند مزایای متعددی مانند پاکسازی سطوح، افزایش انرژی سطوح، بهبود رطوبت پذیری، افزایش توانایی چاپ و رنگ پذیری و ایجاد پوشش‌های بسیار نازک در فیلم‌های مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی داشته باشد.

واژه‌های کلیدی
پلاسما، صنایع غذایی، فرآوری.

مقدمه

پلاسما به‌عنوان حالت چهارم ماده در نظر گرفته می‌شود که مخلوطی از گازهای نیمه و یا کاملاً یونیزه شده هستند که شامل اجزای واکنشگری مانند الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، رادیکال‌های آزاد، اتم‌های گاز و فوتون‌های اشعه فرابنفش است؛ این اجزا از تصادم الکترون به گازها و برانگیخته شدن آن‌ها تولید می‌شوند (شکل (۱)). پلاسما را می‌توان در قالب پدیده‌های طبیعی مانند ستاره‌ها و رعد و برق و یا در ساخته‌های دست انسان مانند چراغ‌های فلورسنت و نئون، تلویزیون پلاسما مشاهده کرد [۱].

به‌منظور تولید پلاسما به مخلوط‌های مختلفی از گازهای خنثی مثل اکسیژن، آرگون، هلیوم، نیتروژن و هیدروژن انرژی داده و آنها را بر انگیخته می‌کنند که در این شرایط بسته به وضعیت عملیاتی و نوع پلاسما، اجزای گاز تماماً و یا تا حدودی یونیزه می‌شود. انرژی لازم برای برانگیخته کردن گازها به‌طور معمول از طریق جریان الکتریکی، حرارت، فشار، امواج رادیویی، مایکروویو و واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شود، اما بهترین روش برای یونیزاسیون، روش‌های الکتریکی و مغناطیسی است. وقتی الکترون‌ها و پروتون‌ها با انرژی کافی به اتم‌ها و مولکول‌های گازی برخورد می‌کنند، با استفاده از یونیزاسیون و با از دست دادن الکترون از هر اتم گازی، پلاسما تولید می‌شود [۱]

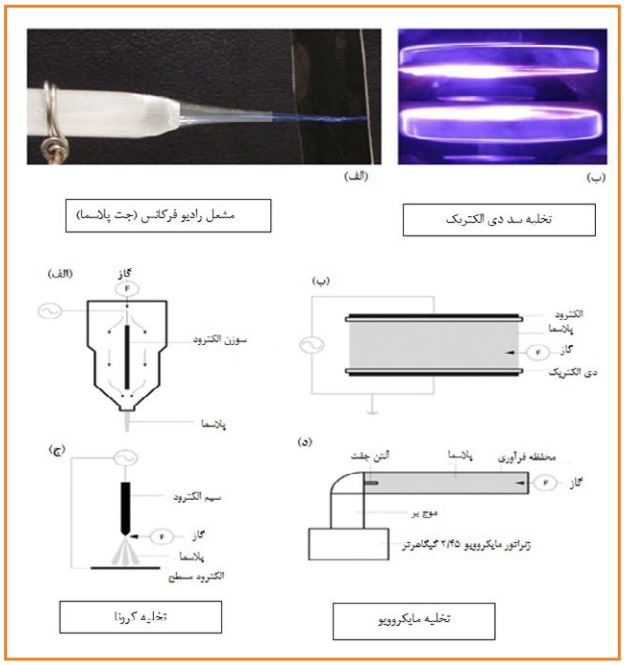


شکل (۱): اجزاء تشکیل دهنده پلاسما [۱].

منابع تولید پلاسمای سرد اتمسفریک

جت پلاسما (مشعل فرکانس رادیویی) غیر حرارتی اتمسفریک به‌طور معمول در محدوده فرکانس رادیویی شعله‌های کوچک پلاسما تولید می‌کند. معمولا جت پلاسما، بیشتر از دو الکترود (به‌عنوان مثال، الکترود سوزنی و الکترود حلقه‌ای) تشکیل می‌شود. مزیت‌های عمده جت پلاسما شامل ابعاد کوچک آن، کاربرد آسان و توانایی نفوذ آن به شکاف‌های باریک است.

در تخلیه سد دی الکتریک، پلاسما به‌طور معمول بین دو الکترود که با استفاده از یک دی الکتریک از هم جدا هستند، تولید می‌شود. در این سیستم‌ها پلاسما هم می‌تواند به‌صورت پراکنده و هم رشته‌ای تولید شود. از مزیت‌های بزرگ این منبع، امکان استفاده انواع زیادی از گازها، نیاز این روش به جریان کم گاز و همچنین امکان ایجاد شعله‌های همگن تا بیش از چند متر است. سد دی الکتریک متداول‌ترین منبع تولید پلاسماست. همه این منابع پلاسما را می‌توان در حالت مستقیم و همچنین در یک حالت غیرمستقیم (به‌صورت راه دور) اعمال کرد. از آنجا که بسیاری از گونه‌های واکنشی دارای طول عمر بسیار کوتاه (در حد میلی ثانیه) هستند، کاربردهای مستقیم پلاسما به‌طور معمول شامل انواع بیشتری از گونه واکنشی است؛ همچنین در این شرایط امکان انجام واکنش‌های سطحی پلاسما مانند اتچینگ (حک کردن) و رسوب فراهم می‌شود. در روش پلاسمای غیرمستقیم به‌طور معمول پلاسما در یک محفظه جدا تولید می‌شود و تنها خروجی‌هایی از پلاسما که حاوی گونه‌های واکنشی با عمر طولانی مانند اکسید نیتریک یا ازن هستند به ماده مورد نظر اعمال می‌شود (شکل (۲)) [۱].



شکل (۲): منابع تولید پلاسما [۱].

شیمی پلاسما و گونه‌های واکنشی

پس از شتاب‌دار شدن الکترون‌ها در میدان‌های الکتریکی یا مغناطیسی، برخوردهای الاستیک و غیر الاستیک بین الکترون‌ها با اتم‌ها و مولکول‌ها انواع زیادی از گونه‌های واکنشی (الکترون‌ها، یون‌های مثبت و منفی، رادیکال‌های آزاد، اتم‌های گاز و فوتون‌ها اشعه فرابنفش) تولید می‌کند. در برخورد الاستیک انرژی جنبشی حامل‌های بار که به‌صورت آزاد هستند انرژی بالایی دارند که باعث می‌شود مقدار بسیار کمی از انرژی منتقل شود. در مقابل، در نوع برخورد غیرالاستیک، انتقال انرژی تا ۱۵ ولت و بیشتر صورت می‌گیرد و منجر به واکنش‌هایی مانند یونیزاسیون، تحریک و گسستگی می‌شود. در نتیجه، ترکیباتی مانند گونه واکنشی اکسیژن (به‌عنوان مثال، O اتمی، رادیکال OH و ازن) و گونه‌های واکنشی نیتروژن (اسید نیتریک، نیتریت و نیترات)، ذرات باردار، الکترون و فوتون‌های فرابنفش تولید می‌شود (جداول (۱) و (۲)) [۱].

جدول (۱): واکنش‌های فاز گازی شامل الکترون‌ها (A و B یون‌ها و یا ترکیبات خنثی هستند) [۱].

واکنش‌ها	توضیحات
$A + e^- \rightarrow A + e^-$	پراکندگی الاستیک
$A + e^- \rightarrow A\,. + e^-$	برانگیختگی
$A^* + e^- \rightarrow A + e^- + hv$	تحریک زدایی
$A + e^- \rightarrow A^+ + 2e^-$	یونیزاسیون
$AB + e^- \rightarrow A^+ + B + e^-$	تکه‌تکه شدن
$AB + e^- \rightarrow A^+ + e^- + B + e^-$	یونیزاسیون تجزیه کننده
$AB + e^- \rightarrow A^- + B$	پیوستگی تجزیه کننده
$A^+ + B + e^- \rightarrow A + B$	ترکیب حجمی
± = کاتیون / آنیون ؛ hv = فوتون	

جدول (۲): واکنش‌های شیمیایی محتمل در فضای تخلیه شار پلاسمایی [۱].

$e + O_2 \rightarrow 2O + e$
$O + O_2 \rightarrow O_3$
$O_3 + H_2O \rightarrow O_2 + H_2O_2$
$H_2O_2 \rightarrow 2OH^-$
$e + H_2O \rightarrow He^- + OH\,. + e$
$e + N_2 \rightarrow N. + N. + e$
$e + N_2 \rightarrow N_2 + e$
$e + NO \rightarrow N. + O. + e$
$2H_2O \rightarrow H_2O_2. + H_2$
$OH.\,, O_3 + M \rightarrow$ (ماکرومولکول) M تجزیه شده

گونه‌های واکنشی اکسیژن

اکسیژن اتمی[۲]:

یکی از مهم‌ترین گونه‌های واکنشی اکسیژن است و به‌طور معمول با تجزیه مولکول اکسیژن تحت تاثیر الکترون ایجاد می‌شود. اکسیژن اتمی یک عامل اکسید کننده بسیار قوی است که با ترکیبات هیدروژنی واکنش می‌دهد و در فرآیندهای حکاکی و اکسیداسیون پروتئین‌ها نقش زیادی دارد.

$$O_2 + e^- \rightarrow O^+ + O\,. + 2e^-$$
$$O_2 + e^- \rightarrow O\,. + O\,. + e^-$$
$$O_2 + e^- \rightarrow O^- + O$$

رادیکال هیدروکسیل[۳]:

به‌طور عمده از مولکول‌های آب تشکیل می‌شود. رادیکال هیدروکسیل بالاترین پتانسیل اکسیداسیون را در بین همه گونه‌های واکنشی اکسیژن موجود در پلاسما دارد و قادر است که DNA را تخریب و تک رشته‌ای کند، منجر به اکسیداسیون اسید چرب غیر اشباع و اکسیداسیون اسید آمینه شده و همچنین موجب شکستن پیوندهای پپتیدی، اتصالات گلیکوزیدی شود.

$$H_2O + e^- \rightarrow H^+ + OH\,. + e^-$$

ازن[۴]:

از لحاظ قدرت اکسید کنندگی نزدیک به رادیکال هیدروکسیل است.

$$O + O_2 + O_2 \rightarrow O_3 + O_2$$
$$O + O_2 + N_2 \rightarrow O_3 + N_2$$

اشعه فرابنفش[۵]:

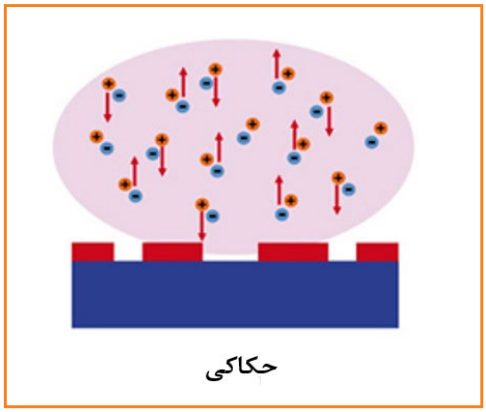
جزئی از پلاسماست که در محدوده طول موج ۳۸۰-۱۰۰ نانومتر قرار دارد که می‌تواند به چهار دسته تقسیم شود:

۱. UV خلاء (VUV، ۲۰۰-۱۰۰ نانومتر)؛
۲. UV-C (۲۸۰-۲۰۰ نانومتر)؛
۳. UV- B (۳۱۵-۲۸۰ نانومتر)؛
۴. UV- A (۳۸۰-۳۵۰ نانومتر).

رفتار ضد میکروبی از اشعه فرابنفش مربوط به اثر تخریب شیمیایی DNA است که در نتیجه از تکثیر سلول باکتری جلوگیری می‌کند. از آنجا که بیشینه مقدار جذب DNA در طول موج ۲۵۴ نانومتر بوده و این طول موج در محدوده UV-C است، به‌طور معمول برای اهداف ضد عفونی از UV-C استفاده می‌شود [۲ و ۳].

واکنش متقابل پلاسما با سطح جامد غذا

سطح مورد تیمار با پلاسما جامد و یا مایع است. الکترون‌های سریع، یون‌ها، رادیکال‌های آزاد و تابش الکترومغناطیسی طیف مرئی-فرابنفش به سطح مورد نظر پلاسما منتقل شده و در آنجا باعث شروع فرآیندهایی مانند حکاکی کردن[۶]، رسوب‌دهی، نوترکیبی، تحریک مجدد و انتشار ثانویه در سطوح جامد می‌شود. واکنش‌های حک کردن که می‌تواند با اکسیژن اتمی انجام شود، منجر به فرار شدن ترکیباتی مانند CO_2 و H_2O می‌شود. این فرآیند با کاهش وزن همراه بوده که ناشی از فرسایش لایه اول سطح (اتمی) و همچنین با واکنش‌های شیمیایی سطح است. فرآیند حک کردن پلاسما به‌عنوان یک روش ضدعفونی نیز مطرح است (شکل (۳)). اکسیژن اتمی همچنین می‌تواند روی گروه‌های قطبی سطحی اثر کرده و منجر به افزایش کشش سطحی، چسبندگی و ترشوندگی بالاتر سطح شود [۴].



شکل (۳): واکنش حک کردن سطوح با پلاسما [۴].

واکنش متقابل پلاسما با مایعات غذایی

علاوه‌بر تولید پلاسما در فاز گازی و تیمار سطوح جامد، می‌توان پلاسما را در محیط گاز-مایع نیز ایجاد کرد. یک پلاسمای محیط گاز-مایع می‌تواند یکی از دو نوع زیر باشد:

۱. پلاسمای فاز گازی حاوی بخار آب باشد که بر سطوح مایع اعمال می‌شود؛
۲. یک سیستم گاز-مایع باشد که در آن یک الکترود در فاز گازی و دیگری در فاز مایع قرار دارد.

پلاسمای تولید شده در محیط‌های گاز-مایع بسیار شبیه به پلاسمای فاز گازی طبیعی است با این تفاوت که اعمال الکترود اضافی در مایع، حالت‌های فیزیکی و مواد شیمیایی جدید و جالبی را برای کاربردهای مختلف فراهم می‌کند [۵].

سازوکار پلاسما در غیرفعال‌سازی میکرو ارگانیسم‌ها

سازوکار غیرفعال‌سازی میکرو ارگانیسم‌ها با پلاسما را می‌توان به چهار اثر اصلی تقسیم کرد:

۱. حمله مستقیم گونه‌های واکنشی ضدمیکروبی به

میکرو ارگانیسم‌ها؛

۲. تجمع ذرات باردار پلاسما روی سطح غشاء سلولی میکروب و متعاقباً تخریب و کشتن آن‌ها؛

۳. اکسیداسیون لیپیدها، اسیدهای آمینه و اسیدهای نوکلوئیک توسط گونه‌های واکنشی اکسیژن و نیتروژن. اکسیداسیون مهم‌ترین سازوکار است؛

۴. اثر گونه‌های فعال فوتون‌های فرابنفش که ماده ژنتیکی را دستخوش تغییر می‌کنند و تقسیم سلولی را دچار تداخل کرده و سبب مرگ سلول می‌شوند.

اهمیت ویژگی‌های سطحی بر اثرات ضدمیکروبی پلاسما

با توجه به اینکه تیمار پلاسما تا عمق کمی از سطح نفوذ می‌کند، در مورد اثر ضدمیکروبی پلاسما حتماً باید نوع سطح تیمار شونده و ضخامت لایه میکروبی را مد نظر قرار داد. مطالعه توپوگرافی (ناهمواری‌ها) سطح مواد غذایی به‌منظور غیر فعال کردن باکتری‌ها با پلاسما نقش بسیار مهمی دارد؛ چرا که ساختارهای مواد غذایی مانند روزنه‌های هوایی در کاهو، ناهمواری‌های سطوح توت فرنگی و دیواره سلول‌های یوکاریوتی گیاهی ممکن است موانع فیزیکی ایجاد کند و در نتیجه منجر به محافظت سلول‌های باکتریایی در برابر پلاسما شود.

کریتز[۷] و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند سطح فرآورده‌هایی مانند طالبی و یا کاهو در برابر غیرفعال شدن پاتوژن‌های مختلف در اثر پلاسما مقاومت می‌کنند، در حالی که در مقایسه با عوامل پاتوژن واقع در سطح پلیت استریل آگار به راحتی توسط پلاسما از بین می‌روند. آنها همچنین عنوان کردند که سطح به نسبت زبر و ناهموار مواد غذایی، مخفیگاه‌های متعددی را برای پاتوژن به‌منظور فرار از تیمار ضد میکروبی پلاسما فراهم می‌کند [۶].

فرناندز[۸] و همکاران (۲۰۱۳) اقدام به مقایسه شرایط پلاسما برای حذف سالمونلا تیفی موریوم واقع در فیلترهای غشایی و محصولات تازه (کاهو، سیب زمینی، توت فرنگی) کردند. آن‌ها گزارش کردند که به‌منظور رسیدن به یک میزان کاهش مشخص در جمعیت سالمونلا در محصولات تازه، به مدت زمان طولانی‌تر تیماردهی با پلاسما نسبت به سطح فیلترهای غشایی نیاز است [۷].

پرنی[۹] و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر پلاسمای سرد در میکرو ارگانیسم‌های مختلف از جمله E. coli و ساکارومیسس سرویزیه در سطح و برش‌های محصولات انبه و خربزه قندک را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش کردند که برای کاهش ۳ سیکل لگاریتمی در جمعیت این میکرو ارگانیسم‌ها در برش‌های این محصولات به زمان تیماردهی بیشتر نسبت به سطح آن‌ها نیاز است. آن‌ها علت این مسئله را نفوذ بیشتر میکرو ارگانیسم‌ها به بافت ماده غذایی و کاهش قدرت بقای گونه‌های واکنشی با توجه به محدودیت عمق نفوذ آن‌ها مطرح کردند [۸].

غیرفعال‌سازی میکروبی با پلاسما در مایعات

در غذاهای مایع لازم است که گونه‌های واکنشی پلاسما محلول در آب باشند تا خودشان را به سلول باکتری برسانند و اثر ضدمیکروبی خود را بگذارند. ترکیبات ضدمیکروبی مانند پراکسید هیدروژن، آنیون‌های سوپراکسید و رادیکال هیدروپرکسیل گونه‌هایی از پلاسمای گاز-مایع هستند که قابلیت انحلال خوبی در آب دارند.

مارسیلی[۱۰] و همکاران (۲۰۰۲) برای اولین بار با تزریق حباب‌های پلاسمای سرد گازی به مایعات مختلف، اقدام به غیرفعال‌سازی باکتری‌های اشریشیا کلی، استافیلوکوکوس اورئوس، سالمونلا انتریتیدیس و باسیلوس سرئوس کردند. آن‌ها با استفاده از سیستم پلاسما، موفق به غیرفعال باکتری‌ها تا حدود ۵ سیکل لگاریتمی شدند [۹].

اثرات ضدمیکروبی گونه‌های واکنشی پلاسما در محیط مایعات تحت تاثیر pH محیط نیز است. مشاهده شده‌است که اگر محیط به اندازه کافی اسیدی باشد، می‌توان میکرو ارگانیسم‌ها را حتی تا میزان ۶ سیکل لگاریتمی کاهش داد. نظریه‌ای که در این رابطه مطرح شده به این صورت است که در محیط اسیدی رادیکال‌های HOO تشکیل می‌شوند و به‌صورت مستقیم با انحلال در سلول‌های باکتریایی باعث غیر فعال شدن سلول می‌شوند [۱۰].

کامگانگ یوبی[۱۱] و همکاران (۲۰۰۹) اثر ضدمیکروبی پلاسمای سرد اتمسفریک (به مدت ۳۰-۵ دقیقه) روی سلول‌های چسبیده و شناور استافیلوکوکوس اپیدرمیس، لوکونوستوک مزنتروئیدیس (به‌عنوان نماینده باکتری‌های گرم مثبت) و هافنیا آلوی (به‌عنوان نماینده باکتری‌های گرم منفی) و ساکارومایسس سرویزیه (به‌عنوان نماینده مخمرها) در آب را ارزیابی کردند. آن‌ها مشاهده نمودند که تیمار پلاسما در مورد سلول‌های میکروبی چسبیده اثر کمتری دارد. اثر ضدمیکروبی تیمار پلاسما پس از ۳۰ دقیقه تیماردهی در مورد باکتری‌ها (کاهش ۶ سیکل لگاریتمی) بیشتر از مخمرهاست (کاهش ۳ سیکل لگاریتمی). میزان غیرفعال‌سازی میکرو ارگانیسم‌ها در اثر تیمار پلاسما مستقل از نوع گرم مثبت یا گرم منفی بودن آن‌هاست [۱۱].

اثرات پلاسما بر اجزا و خواص مواد غذایی

پلاسمای سرد اتمسفریک به‌عنوان روشی جایگزین برای روش سنتی پاستوریزاسیون حرارتی مواد غذایی مطرح است. با توجه به ماهیت غیرحرارتی پلاسمای سرد، تغییرات حرارتی ناشی از میلارد مانند تغییر رنگ و تولید ترکیبات طعمی و افت ارزش غذایی در این روش در حداقل است [۱۲].

فرولینگ[۱۲] و همکاران (۲۰۱۲) به تیماردهی گوشت خوک به روش پلاسمای غیر مستقیم با پلاسمای مایکروویو اقدام کردند. براساس نتایج آن‌ها اندیس L^* (روشنایی) به وضوح افزایش یافت. اندیس a^* (قرمز/سبز) به دلیل واکنش میوگلوبین با پراکسید هیدروژن و تولید کولی گلوبین و تشکیل سولفومیوگلوبین در حضور سولفید هیدروژن و اکسیژن، کاهش

پیدا کرد. افزایش اندکی در اندیس b^* (زرد/آبی) به دلیل تشکیل مت میوگلوبین ناشی از اثر گونه‌های واکنشی اکسیژن در اکسید کردن داکسی میوگلوبین و یا اکسی میوگلوبین پس از تیماردهی با پلاسما ثبت شد [۱۳].

گرژگورسکی[۱۳] و همکاران (۲۰۱۰) اقدام به مطالعه اثرات پلاسمای سرد اتمسفریک بر پلی فنول‌ها کردند. پلی فنول‌های کوئرستین و کامفرول پس از ۱۲۰ ثانیه قرار گرفتن در معرض پلاسما به شدت تخریب می‌شوند. با این حال، میریستین و تاکسیفولین که فاقد پیوند دوگانه C = C در حلقه کربنی است، تخریب کمتری را پس از تیمار پلاسما نشان داد. آن‌ها تفاوت‌های موجود در پایداری پلی فنل‌ها را در اثر پلاسما به تفاوت‌های ساختاری آن‌ها نسبت دادند [۱۴].

از آنجایی که در فناوری پلاسمای سرد بسیاری از گونه‌های اکسیدکننده قوی و ذرات باردار تولید می‌شوند، تخریب ویتامین C و E در غذاهای فرآوری شده با پلاسما اتفاق می‌افتد. با این حال در مورد غذاهای جامد که پلاسما تنها بر سطح اعمال می‌شود، این واکنش‌های شیمیایی و افت این ویتامین‌ها تنها در سطح رخ می‌دهد، اما در مواد غذایی مایع مانند آبمیوه‌ها افت شدید ویتامین C را شاهد هستیم [۱۵ و ۱۶].

ساتو[۱۴] و همکاران (۲۰۰۷) تاثیر تیمار پلاسمای سرد بر pH مایعات را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها مشاهده کردند که pH مخلوط آب و بافر فسفات سالین پس از تیمار با پلاسمای سرد اتمسفریک از ۳/۷ تا میزان ۳ و ۴ کاهش پیدا می‌کند. آن‌ها علت این اسیدی شدن را در معرض هوا قرار گرفتن پلاسما با نیتروژن موجود در هوا و در واقع تولید اکسیدهای نیتروژن[۱۵] و به‌طور ویژه نیترات[۱۶] و انحلال آن‌ها در مایعات عنوان کردند [۱۷].

گورول[۱۷] و همکاران (۲۰۱۲) اقدام به تیماردهی شیر خام با پلاسمای سرد اتمسفریک (سیستم کرونا) با هدف حذف E.coli در زمان‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ دقیقه کردند. کاهش قابل توجه حدود ۵۴ درصد در جمعیت سلول‌های E.coli تنها پس از ۳ دقیقه تیماردهی شیر با پلاسمای سرد مشاهده شد. جمعیت میکروبی شیر خام از ۸۷/۷ به ۶۳/۳ Log CFU/ml پس از ۲۰ دقیقه تیماردهی با پلاسما رسید. Ph و عوامل رنگی (کاهش اندکی در L^* دیده شد در حالی که a^* و b^* تغییری نکردند) شیر تیمار شده با پلاسمای سرد تغییر قابل توجهی نداشت [۱۸].

یکی از جدیدترین کاربردهای در حال ظهور، فناوری پلاسمای سرد اتمسفریک استفاده از آن به‌عنوان یک فرآیند اکسیداسیون کارآمد در صنایع غذایی است که می‌تواند نیاز به استفاده از عوامل اکسید کننده شیمیایی را برطرف سازد [۱۹].

میسرا[۱۸] و همکاران (۲۰۱۵) از فناوری پلاسمای سرد اتمسفریک به‌عنوان یک فرآیند اکسید کننده پیشرفته به‌منظور اصلاح ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر آرد گندم‌های نرم و سخت استفاده کردند. برای این منظور آن‌ها پس از تیماردهی نمونه‌های آرد گندم، ویژگی‌های ویسکوالاستیک نوسانی و میکسوگراف خمیر آن‌ها را ارزیابی کردند. گونه‌های واکنشی پلاسما با اکسید کردن گروه‌های سولفیدریل[۱۹] اسیدهای آمینه پروتئین‌های گندم (به ویژه گلوتنین) باعث افزایش پیوندهای دی سولفیدی (S-S) و به تبع آن استحکام بیشتر خمیر می‌شوند [۲۰]. براساس نتایج آن‌ها:

۱. تیمار پلاسما منجر به بهبود قدرت خمیر و زمان بهینه اختلاط برای هر دو آرد قوی و ضعیف گندم شد؛

۲. هر مدول الاستیک (G') و ویسکوز (G'') خمیر به تدریج با افزایش ولتاژ و زمان تیمار، افزایش یافته‌اند؛

۳. در واقع سختی کل (G^*) با افزایش ولتاژ و زمان تیمار، زیاد شد.

کاربردهای پلاسمای سرد در صنعت بسته‌بندی:

استرلیزاسیون و پاکسازی سطحی بسته‌بندی با پلاسما:

آلودگی‌های سطحی مانند روغن‌ها را می‌توان از طریق بمباران یونی با پلاسما پاک نمود. از این اثر پلاسما می‌توان به‌عنوان یک پیش تیمار به‌منظور حذف آلودگی و مواد زاید در جریان برچسب زنی استفاده کرد.

سازوکار کلی در این رابطه به این صورت است که:

- اتم‌های پرانرژی، یون‌ها و فوتون‌های اشعه فرابنفش می‌توانند به خوبی پیوندهای مولکول‌های آلودگی روی سطح را بشکنند و منتج به حذف آلودگی‌های سطحی مثل روغن‌ها و گریس شوند.
- گونه‌های واکنشی اکسیژن باعث اکسید شدن آلاینده‌های آلی می‌شوند و از این طریق چسبندگی آن‌ها به سطح را کاهش می‌دهند [۲۱].

یکی دیگر از کاربردهای بسیار جذاب پلاسمای سرد مربوط به استریل کردن سرد در بسته‌بندی‌های حساس به حرارت (که در اثر حرارت دچار تغییر شکل می‌شوند) است. میائو[۲۰] و همکاران (۲۰۱۱) اقدام به مطالعه میزان حذف باکتری E. coli از سطح سه فیلم بسته‌بندی ازجنس پلی اتیلن فتالات، پلی تترا فلئورو اتیلن و پلی وینیل کربنات با استفاده از پلاسمای سرد اتمسفریک (پلاسمای تخلیه سد دی الکتریک و زمان ۱ تا ۵ دقیقه) کردند:

- در مورد هر سه نوع فیلم فاصله منبع تا سطح فیلم عاملی تاثیرگذار در شدت اثرات ضد میکروبی پلاسماست (بدین صورت که فاصله ۳ سانتی‌متر بیشترین ضریب مرگ را داشت)؛
- بیشترین ضریب مرگ به ترتیب مربوط به فیلم PVC، PEF و در آخر PTFE بود

دلیلی که آن‌ها برای این موضوع عنوان کردند این است که هر چه انرژی سطحی فیلم بالاتر باشد، زاویه تماس قطرات سوسپانسیون میکروبی کمتر شده و در نتیجه چگالی انباشتگی باکتری کمتر و لذا کارآیی ضدمیکروبی پلاسما بیشتر می‌شود [۲۲].

فعال‌سازی سطوح

یکی از مشکلات مربوط به فیلم‌های پلاستیکی به‌عنوان مثال، پروپیلن و یا PTEF این است که به راحتی به ذرات

فصلنامه دانش آزمایشگاهی ایران سال دهم ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱ ■ شماره پیاپی ۳۷

دیگر متصل نمی‌شوند (انرژی سطحی پایین). در این موارد تیمار پلاسما بهترین راه حل برای آماده‌سازی سطوح این مواد برای فرآیندهایی است که در آن‌ها نیاز به اتصال و باند شدن وجود دارد. در این روش به‌طور معمول از گاز اکسیژن استفاده می‌شود. سازوکار عمل در این مورد به این شکل است که گونه‌های واکنشی اکسیژن به تمام سطح ماده می‌چسبند و بدین صورت یک سطح با انرژی سطحی بالا را ایجاد می‌کنند که مواد دیگر می‌توانند به آن متصل شوند.

تیمار پلاسما از طریق افزایش انرژی سطح (فعال‌سازی سطح) به‌طور چشمگیری رطوبت‌پذیری سطح را افزایش می‌دهد که این مسئله باعث ایجاد سطوح ضد مه و امکان استفاده از رنگ‌های بر پایه آب را فراهم می‌آورد که از جنبه محیط‌زیست نکته مثبتی است (شکل (۴)) [۲۳].

شکل (۴): فعال‌سازی سطوح به کمک پلاسما [۲۳].

پوشش پلاسمایی

در این فرآیند یک لایه پلیمری بسیار نازک در سراسر سطح در تماس با پلاسما تشکیل می‌شود. این لایه بسیار نازک (۰/۰۱ قطر موی انسان) بی‌رنگ و بی‌بو است که هیچ تغییری در ساختار ایجاد نمی‌کند.

سازوکار تشکیل به این صورت است که مونومرهایی که وارد محفظه تولید پلاسما می‌شوند تشکیل پلیمر داده و جذب سطح می‌شوند. مونومرهای مختلف می‌توانند سطوح آبگریز و آبدوست را ایجاد کنند.

مزیت‌های پوشش‌دهی با پلاسما شامل مواد کم مورد نیاز و به تبع آن وزن کمتر، کاهش هزینه و بهبود قابلیت بازیافت است [۲۴].

حکاکی پلاسما

حکاکی کردن پلاسما برای زبر کردن سطوح در مقیاس میکروسکوپیک بکار برده می‌شود که در آن سطوح مورد نظر با گونه‌های واکنشی حاصل از گاز، حکاکی می‌شوند. در این شرایط، سطح گسترش یافته و به بهبود فرآیندهای چاپ، برچسب زنی و نقاشی روی سطح کمک می‌کند. این روش برای سطوحی از جنس پلی اکسی متیلن و پلی تترا فلئورو اتیلن بسیار مفید است، چرا که این سطوح به تنهایی قابل چاپ، برچسب پذیری و اتصال با مواد دیگر نیستند [۲۵].

نتیجه‌گیری

در طول دهه گذشته فرآوری مواد غذایی با پلاسمای سرد بسیار مورد توجه قرار گرفته است. پلاسما قابلیت خوبی در کاهش بار میکروبی روی سطوح مختلف مواد غذایی مانند کاهو، بادام، تخم‌مرغ و گوشت و همچنین در مایعات مانند آب، آبمیوه‌ها و شیر دارد.

با این حال، این مطالعات همچنین برخی محدودیت‌های خاص فرآیندهای پلاسما را نیز نشان می‌دهند. به عمق نفوذ کم پلاسما، وجود بیوفیلم باکتری‌ها، عدم دسترسی پلاسما به باکتری‌هایی که به بافت مواد غذایی نفوذ می‌کنند، سطوح ناهموار غذا و امکان آسیب پلاسما روی ترکیباتی مانند آنتی اکسیدان‌ها و برخی ویتامین‌ها مشکلاتی هستند که گسترش این روش فرآوری را به تاخیر انداخته‌اند.

همچنین خطرات احتمالی از لحاظ ایمنی غذایی ناشی از باقی‌مانده پلاسما در مواد غذایی و احتمال آلرژی‌زایی مواد تیمار شده با پلاسما نیز باید مورد ارزیابی بیشتر قرار گیرد. در نهایت، تجزیه و تحلیل پذیرش این سری محصولات توسط مصرف کننده در بازار ضروری است، چرا که استفاده از فناوری‌های در حال ظهور تنها زمانی که در تصمیم خرید مصرف کننده اثر منفی نگذارد، ارزشمند است.

این مسائل به وضوح نشان می‌دهد که فناوری پلاسما هنوز در مراحل ابتدایی خود قرار دارد و قبل از اینکه این فرآیند قابلیت کاربرد صنعتی به خود بگیرد، به تحقیقات بیشتری نیاز است.

با این وجود، نتایج مطالعات اخیر، بسیاری از مزایای اصلی پلاسمای سرد اتمسفریک را نشان می‌دهد. همچنین فرآوری پلاسما می‌تواند مزایای متعددی مانند پاکسازی سطوح، افزایش انرژی سطوح، بهبود رطوبت‌پذیری، افزایش توانایی چاپ و رنگ‌پذیری و ایجاد پوشش‌های بسیار نازک در فیلم‌های مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی داشته باشد.

پی‌نوشت

۱. عضو هیئت علمی گروه پژوهشی فرآورده‌های غذایی، حلال و کشاورزی، پژوهشکده صنایع غذایی و فرآورده‌های کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

2. oxygen (O)
3. hydroxyl radical (•OH)
4. Ozone (O3)
5. Ultraviolet (UV)
6. Etching
7. Critze
8. Ferna´ndez
9. Perni
10. Marsili
11. Kamgang-Youbi
12. Fröhling
13. Grzegorzewski
14. Satoh
15. Nitrogen Oxides (NOx)
16. Nitrate (NO3)
17. Gurol
18. Misra
19. sulfhydryl (–SH)
20. Miao

مراجع

[1] SUROWSKY, B., FISCHER, A., SCHLUETER, O. & KNORR, D. 2013. Cold plasma effects on enzyme activity in a model food system. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 19, 146-152.

[2] FERNáNDEZ, A. & THOMPSON, A. 2012. The inactivation of Salmonella by cold atmospheric plasma treatment. Food Research International, 45, 678-684.

[3] KORACHI, M. & ASLAN, N. 2013. Low temperature atmospheric plasma for microbial decontamination. Microbial Pathogens and Strategies for Combating Them: Science, Technology and Education, 453-459.

[4] SUROWSKY, B., SCHLUTER, O. & KNORR, D. 2015. Interactions of non-thermal atmospheric pressure plasma with solid and liquid food systems: a review. Food Engineering Reviews, 7, 82-108.

[5] GRZEGORZEWSKI, F., SCHLUTER, O., EHLBECK, J., WELTMANN, K., GEYER, M., KROH, L. & ROHN, S. 2009. Plasma-oxidative degradation of polyphenolics–influence of non-thermal gas discharges with respect to fresh produce processing. Czech Journal of Food Sciences, 27, 1182-1189.

[6] CRITZER, F. J., KELLY-WINTENBERG, K., SOUTH, S. L. & GOLDEN, D. A. 2007. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces. Journal of Food Protection®, 70, 2290-2296.

[7] FERNANDEZ, A., NORIEGA, E. & THOMPSON, A. 2013. Inactivation of Salmonella enterica serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology. Food microbiology, 33, 24-29.

[8] PERNI, S., LIU, D. W., SHAMA, G. & KONG, M. G. 2008. Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit. Journal of Food Protection®, 71, 302-308.

[9] MARSILI, L., ESPIE, S., ANDERSON, J. G. & MACGREGOR, S. J. 2002. Plasma inactivation of food-related microorganisms in liquids. Radiation Physics and Chemistry, 65, 507-513.

[10] IKAWA, S., KITANO, K. & HAMAGUCHI, S. 2010. Effects of pH on Bacterial Inactivation in Aqueous Solutions due to Low-Temperature Atmospheric Pressure Plasma Application. Plasma Processes and Polymers, 7, 33-42.

[11] KAMGANG-YOUBI, G., HERRY, J. M., MEYLHEUC, T., BRISSET, J. L., BELLON-FONTAINE, M. N., DOUBLA, A. & NAITALI, M. 2009. Microbial inactivation using plasma-activated water obtained by gliding electric dis-

charges. Letters in applied microbiology, 48, 13-18.

[12] MISRA, N., KAUR, S., TIWARI, B. K., KAUR, A., SINGH, N. & CULLEN, P. 2015. Atmospheric pressure cold plasma (ACP) treatment of wheat flour. Food Hydrocolloids, 44, 115-121.

[13] FRöHLING, A., DUREK, J., SCHNABEL, U., EHLBECK, J., BOLLING, J. & SCHLUTER, O. 2012. Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 16, 381-390.

[14] GRZEGORZEWSKI, F., ROHN, S., QUADE, A., SCHRöDER, K., EHLBECK, J., SCHLUTER, O. & KROH, L. W. 2010. Reaction Chemistry of 1, 4-Benzopyrone Derivates in Non-Equilibrium Low-Temperature Plasmas. Plasma Processes and Polymers, 7, 466-473.

[15] BERMúDEZ-AGUIRRE, D., WEMLINGER, E., PEDROW, P., BARBOSA-CáNOVAS, G. & GARCIA-PEREZ, M. 2013. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of Escherichia coli in fresh produce. Food Control, 34, 149-157.

[16] SHI, X.-M., ZHANG, G.-J., WU, X.-L., LI, Y.-X., MA, Y. & SHAO, X.-J. 2011. Effect of low-temperature plasma on microorganism inactivation and quality of freshly squeezed orange juice. IEEE Transactions on Plasma Science, 39, 1591-1597.

[17] SATOH, K., MACGREGOR, S. J., ANDERSON, J. G., WOOLSEY, G. A. & FOURACRE, R. A. 2007. Pulsed-plasma disinfection of water containing Escherichia coli. Japanese journal of applied physics, 46, 1137.

[18] GUROL, C., EKINCI, F., ASLAN, N. & KORACHI, M. 2012. Low temperature plasma for decontamination of E. coli in milk. International journal of food microbiology, 157, 1-5.

[19] MISRA, N. N., PATIL, S., MOISEEV, T., BOURKE, P., MOSNIER, J. P., KEENER, K. M. & CULLEN, P. J. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. Journal of Food Engineering, 125, 131-138.

[20] MISRA, N., TIWARI, B., RAGHAVARAO, K. & CULLEN, P. 2011. Nonthermal plasma inactivation of food-borne pathogens. Food Engineering Reviews, 3, 159-170.

[21] GORDON, J. The Application of Plasma Technology in Packaging.

[22] MIAO, H. & YUN, G. 2011. The sterilization of Escherichia coli by dielectric-barrier discharge plasma at atmospheric pressure. Applied Surface Science, 257, 7065-7070.

[23] GUILLARD, V., MAURICIO-IGLESIAS, M. & GONTARD, N. 2010. Effect of novel food processing methods on packaging: structure, composition, and migration properties. Critical reviews in food science and nutrition, 50, 969-988.

[24] PANKAJ, S. K., BUENO-FERRER, C., MISRA, N., MILOSAVLJEVIĆ, V., O'DONNELL, C., BOURKE, P., KEENER, K. & CULLEN, P. 2014. Applications of cold plasma technology in food packaging. Trends in Food Science & Technology, 35, 5-17.

[25] SANCHIS, M., BLANES, V., BLANES, M., GARCIA, D. & BALART, R. 2006. Surface modification of low density polyethylene (LDPE) film by low pressure O 2 plasma treatment. European polymer journal, 42, 1558-1568.

Author

Saba Belgheisi

*S.Belgheisi@gmail.com

PhD of food science and technology, faculty member of Research group of food products, halal and agriculture, Research Institute of Food Industries and Agricultural Products, Standard Research Institute, Karaj, Iran

Applications of cold plasma technology in food industry

Abstract

The first laboratory use of plasma in the food industry was to study the possibility of inactivating undesirable microorganisms from the surface of heat-sensitive foods such as fresh fruits and vegetables, meat, and eggs. Plasma treatment can be considered as a potential alternative to chemicals (eg chlorine treatment) or physical methods (eg high pressure, pulsed electric field, irradiation) for surface disinfection. Advantages of using plasma processes include high efficiency at low temperatures (generally <70 ° C), instantaneous production, low impact on the internal matrix of the product, no need for water or solvent and no waste left. Plasma processing can also have several benefits, such as cleaning surfaces, increasing surface energy, improving moisture, increasing printing and dyeability, and creating very thin coatings on films used in the packaging industry.

Keywords

Plasma, food industry, processing.

Iran Nanotechnology Laboratory Network

Iranian Journal of

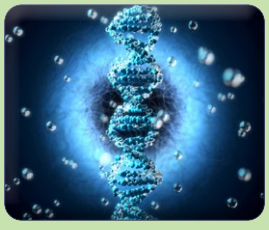
laboratory Knowledge

ISSN 2538-3450

Volume 10 ▪ Issue 1 ▪ Spring 2022 ▪ No.37

The crossover method as a simple and fast solving method in solution preparation problems

Importance of hydrophobicity and related tests in the electrical insulation industry



Investigation of mtDNA in Genetic Laboratory Sequences and Methods used in Ancient Genetic Studies

Applications of cold plasma technology in food industry

A review on Fracture Toughness; concepts and test methods

The crossover method as a simple and fast method in solving solution preparation problems

www.IJLK.ir
info@ijlk.ir