

به نام خدا



موضوع مقاله:

کاهش بار میکروبی آرد

نویسنده و مترجم:

شاهین یوسف خان

تاریخ: تیر ماه 1403

مقدمه

منابع آلودگی میکروبی گندم را می توان در طول زنجیره تولید محصول از جمله مراحل قبل از برداشت، برداشت، حمل و نقل، ذخیره سازی و فرآوری یافت. میکروب های آلوده را می توان توسط عناصر مختلفی مانند حیوانات، هوا، آب، گرد و غبار و تجهیزات آلوده حمل کرد. علاوه بر این، شرایط آب و هوایی مختلف، مانند سطح بارندگی و سطح رطوبت نسبی، و همچنین میکرو فلور مزرعه خاص می تواند بر نوع و میزان بار میکروبی روی دانه ها تأثیر بگذارد. میکروارگانیسم های موجود در غلات شامل پاتوژن های روده ای مانند باکتری های گرم منفی اشریشیا کلی و سالمونلا و باکتری های گرم مثبت باسیلوس سرئوس، مخمرها و قارچ های تولیدکننده مایکوتوکسین از جنس های اسپرژیلوس، پنی سیلیوم و فوزاریوم هستند.

بار میکروبی معمولاً در سطح دانه گندم یافت می شود. با این حال، در طول فرآیند آسیاب خشک، آلودگی میکروبی بین محصولات آسیاب شده مجدداً توزیع می شود که منجر به کیفیت میکروبیولوژیکی ناکافی آرد گندم تصفیه شده می شود. علاوه بر این، با افزایش روند مصرف محصولات غلات کامل، خطر آلودگی میکروبی در آرد گندم کامل و فرآورده های مشتق از آن شایع است. فعالیت کم آب ($aw < 0.60$ آرد از رشد میکروبی پشتیبانی نمی کند، با این وجود هاگ های آلوده همراه با میکروارگانیسم های خفته برای مدت طولانی زنده می مانند و یک خطر بالقوه برای سلامتی هستند.

هنگامی که مداخلات ایمنی بر اساس رفتارهای غذایی مصرف کنندگان ایجاد شود، می توان از بیماری های ناشی از غذا و شیوع مرتبط با آرد گندم آلوده جلوگیری کرد. در مطالعه ای که در 21 دانشگاه آمریکا انجام شد، (Byrd-Bredbenner et al. (2008 گزارش داد که 53 درصد از شرکت کنندگان در مصرف خمیر شیرینی خانگی خام رفتار غذایی پرخطر را متحمل شدند. به نظر می رسد خوردن محصولات پخته نشده که باید قبل از مصرف پخته شوند، یک عمل گسترده است. به عنوان مثال، در مطالعه ای که خمیر شیرینی آماده برای پخت را با آلودگی *E. coli* مرتبط کرد، بیماران اعتراف کردند که خمیر را برای مصرف خام آن بدون برنامه ریزی برای پخت آن می خردند. علاوه بر این، هریس و یادا (2019) موارد شیوع بیماری های ناشی از غذا و یادآوری های ناشی از آلودگی میکروبی آرد گندم و محصولات مبتنی بر گندم را گردآوری کرده اند. برخی از جدیدترین موارد ذکر شده مربوط به مصرف محصولات خام آرد گندم در ایالات متحده آمریکا شامل مخلوط خمیر آلوده به *E. coli* O157:H7 در سال 2016 و مخلوط کیک آلوده به سالمونلا آگینی در سال 2018 است.

از این موارد شیوع بیماری بررسی ها نشان داد که آرد گندم آلوده به عنوان مزنون اصلی ناقل بیماری را بودن. بنابراین، حتی زمانی که به مصرف کنندگان در مورد خطرات ناشی از مصرف محصولات مبتنی بر گندم پخته نشده هشدار داده می شود، صنعت باید جایگزین هایی برای

ضد عفونی کردن گندم و آرد گندم برای اطمینان از ایمنی مصرف کنندگان
علی رغم رفتارهای غذایی پرخطرشان بررسی کند.

چندین استراتژی برای ضد آلودگی دانه گندم و آرد مورد مطالعه قرار
گرفته است (جدول 1)، از جمله محلول های معتدل دانه، فناوری های
غیر حرارتی مانند نور پالسی و پلاسمای سرد، و فناوری های حرارتی مانند
بخار با دمای بالا و گرمایش با فرکانس رادیویی. هدف بررسی حاضر
توصیف استراتژی های مورد مطالعه تا آخرین پیشرفت ها برای کنترل
پاتوژن های خطرناک بالقوه در دانه گندم و آرد گندم است.

راه حل های عبارتند از:

درمان با اشعه ماوراء بنفش یا ازن که می تواند کشندگی کافی ایجاد کند
و عملکرد آرد را حفظ کند

سیستم های پیش آسیاب که از آب الکترولیز شده یا سایر عوامل
اکسید کننده برای تصفیه گندم استفاده می کنند

دستورالعمل های بهترین عمل که آزمایش هایی را برای بهینه سازی
خشک کردن/ذخیره سازی برای به حداقل رساندن میکروب ها بیان
می کند

فن آوری های عملیات حرارتی، مانند گرمایش مادون قرمز، بخار یا
مایکروویو

افزودنی های شیمیایی جدید در مرحله تمپر فرآیند آسیاب برای کاهش قابل توجه میکرو

پروتکل های رسیدگی و پردازش

الزامات ضروری عبارتند از:

❖ محلول ها باید در کاهش حضور میکروبی در گندم و/یا آرد مؤثر باشند

❖ راه حل ها باید به طور یکپارچه با فرآیندهای موجود در کارخانه های آسیاب آرد یا تاسیسات CPG ادغام شوند

❖ راه حل هایی که می توانند بدون هیچ تغییری در زیرساخت های موجود پیاده سازی شوند

❖ راه حل های مقرون به صرفه ای که می توانند به سرعت به کار گرفته شوند

❖ راه حل هایی که الزامات نظارتی را برآورده می کنند

آنچه خارج از محدوده است:

محلول هایی که خاصیت پخت یا تغذیه آرد را تغییر می دهند

محلول هایی که هر شکلی از باقی مانده های شیمیایی یا بویی در آرد باقی می گذارند

2 راه حل های تعدیل کننده

2.1 ازن

برای آسیاب خشک گندم، دانه ها باید با آب گرم یا تهویه شوند به طوری که بسته به سختی دانه، به سطح رطوبت 15.0 تا 16.5 درصد برسد. استفاده از عوامل شیمیایی در تلطیف آب به عنوان وسیله ای برای ضد عفونی میکروبی یک استراتژی مورد استفاده در صنعت بوده است. به عنوان مثال، صنعت ماکارونی از آب معتدل کلر (600 تا 700 ppm) به عنوان یک روش ضد آلودگی استفاده می کرد. با این حال، نگرانی های ایمنی مطرح شده است زیرا کلر با باقی مانده های آلی واکنش می دهد و در نتیجه محصولات سرطان زا بالقوه را تشکیل می دهد. بنابراین، لازم است مواد مختلفی به عنوان جایگزین کلر برای کاهش بار میکروبی روی دانه مورد مطالعه قرار گیرند. از آنجایی که ازن بقایای خطرناکی بر جای نمی گذارد، به عنوان جایگزینی برای کلر در آب های معتدل در نظر گرفته شد. (Ibanoğlu 2001) اثر تلطیف دو نوع تجاری ترکیه گندم نرم سفید و گندم قرمز سخت با آب ازن دار را بر تعداد کل باکتری ها و تعداد مخمر و کپک (YMC) مطالعه کرد. با توجه به اثر اکسید کننده ازن، کاهش $\log$ CFU/g 1.0-2.0 برای کل باکتری ها و YMC با بالاترین غلظت ازن در آب معتدل مشاهده شد. علاوه بر این، دیلون و همکاران. (2007) اثر ضد آلودگی غلظت های بالاتر ازن رقیق شده در آب گرم را برای گندم دوروم و سخت بهاره قرمز بررسی کرد. نتایج تحقیق نشان داد که با غلظت 16 پی پی ام ازن، کاهش $\log$ CFU/g 0.5 در YMC و تعداد صفحات

هوازی (APC) برای هر دو نوع گندم به دست آمد. علیرغم کاهش بار میکروبی که با آب گرم کننده ازن دار مشاهده می شود، کار با ازن به تاسیسات مقاوم در برابر خوردگی نیاز دارد که می تواند به معنای افزایش هزینه های عملیاتی برای آسیاب ها باشد. علاوه بر این، اقدامات ایمنی کافی باید تضمین شود، زیرا اداره ایمنی و بهداشت شغلی ایالات متحده تعیین کرده است که 0.1 ppm حداکثر غلظت ازن است که کارگران باید برای هشت ساعت کار در معرض آن قرار گیرند.

2.2 محلول های نمک اسیدی

از آنجایی که نیاز به یک عامل شیمیایی که برای کارگران خطری ایجاد نمی کند و پس از تلطیف شدن بقایایی روی هسته ها باقی نمی گذارد، استفاده از اسیدهای آلی و محلول های نمکی برای معتدل کردن گندم پیشنهاد شد. اسیدهای آلی و محلول های نمکی به دلیل اثر مخرب بر سلول های میکروبی به طور گسترده ای به عنوان افزودنی های غذایی و نگهدارنده استفاده می شوند. به عنوان مثال، غشای لیپیدی سلول های باکتریایی می تواند توسط اشکال غیرقابل تفکیک اسیدهای ضعیف نفوذ کند که به آنیون ها و پروتون های داخل سلول تجزیه می شوند و باعث اسیدی شدن سیتوپلاسم می شوند. از آنجایی که سلول تمایل دارد PH سیتوپلاسمی را خنثی نگه دارد تا از تغییرات ساختاری جلوگیری کند، پروتون های جدا شده از سلول مصرف کننده ATP خارج می شوند و در نتیجه انرژی سلولی کاهش می یابد. اثر ضد میکروبی محلول های نمکی به دلیل شوک اسمزی ناشی از بیش از حد یون های Na^+ و Cl^- است.

غلظت بیش از 1.5٪ یون های Na^+ و Cl^- برای غیر هالوفیل ها به دلیل حلالیت محدود اکسیژن، پلاسمولیز سلولی و تداخل با آنزیم های کلیدی باکتریایی سمی در نظر گرفته می شود که می تواند باعث مهار تنفس، حمل و نقل بستر، جذب اسیدهای آمینه و سایر متابولیک های سلولی شود.

بنابراین، Sabillón، و همکاران. (2016)، سابیلون، و همکاران. (2016) فعالیت ضد میکروبی محلول های معتدل اسیدهای آلی (اسیدهای استیک، سیتریک، لاکتیک و پروپیونیک)، و همچنین ترکیب آنها با NaCl را برای تشخیص اثر ضد میکروبی هم افزایی مورد مطالعه قرار دادند. پس از ارزیابی فعالیت ضد میکروبی محلول های معتدل اسیدهای آلی در غلظت های 1.0، 2.5 و 5.0 درصد، محققان به این نتیجه رسیدند که کمترین اثر درمانی محلول اسید سیتریک، صرف نظر از غلظت آن، برای کاهش کپک و مخمر است. از سوی دیگر، اسیدهای لاکتیک، پروپیونیک و استیک بیشترین کاهش مخمر، کپک، انتروباکتریاسه (Eb و APC را در سطح 5/0 درصد داشتند. با این حال، تنها اسیدهای لاکتیک و استیک (2.5٪ و 5.0٪) برای ترکیب آنها با 26٪ NaCl (52٪) و مطالعه بیشتر انتخاب شدند. محلول های تهیه شده از اسید لاکتیک 5.0٪ و NaCl ، صرف نظر از غلظت، موثرترین در کاهش بارهای میکروبی دانه گندم بودند که نشان دهنده اثر هم افزایی برای کاهش Eb و APC است. در یک مطالعه بعدی، Sabillón و همکاران. (2017) خواص چسباندن، اختلاط و پخت را از آردهای گندم سبوس دار و سبوس دار از گندم زمستانه قرمز سخت که با

محلول های اسید آلی نمک اسیدهای لاکتیک و استیک (2.5٪ و 5.0٪) و 26٪ NaCl (مخلوط شده است، ارزیابی کرد. آرد سبوس دار به دست آمده از غلات با محلول های اسید آلی شور، کاهش پارامترهای چسباندن و افزایش شن نان را داشت. از سوی دیگر، تحمل اختلاط کلی، مشخصات چسباندن و ویژگی های نان از آرد با درجه مستقیم تفاوت قابل توجهی با شاهد (معادل شده در آب) نداشتند، که این فرضیه را تایید می کند که محلول های تلطیف مورد مطالعه حداقل نفوذ به آندوسپرم دانه دارند. سابیلون و همکاران (2019) ارزیابی آلودگی زدایی گندم با محلول های معتدل اسید آلی شور و تأثیر آن ها بر عملکرد با استفاده از گندم زمستانه قرمز نرم را ادامه داد. در توافق با مطالعات قبلی، محلول اسید لاکتیک (5.0٪) و 26.6٪ NaCl (موثرترین محلول برای کاهش بار میکروبی گندم، به ویژه در برابر Eb کاهش 4.5 log CFU/g) بود. با توجه به عملکرد، نه خواص چسباندن و نه مشخصات کوکی های پخته شده تفاوت قابل توجهی در مقایسه با شاهد (آب معتدل) ندارند. علاوه بر این، Sabillón و همکاران. (2020) تأثیر تمپر کردن با محلول های اسید آلی نمک (26٪ NaCl با 2.5٪ یا 5.0٪ اسید استیک یا لاکتیک)، و همچنین تأثیر میانگین دمای ذخیره سازی فصلی (2.0، 10.8، 24.2، و 32.0) را مورد مطالعه قرار دادند. درجه سانتی گراد) روی پاتوژن ها روی نمونه های گندم زمستانه قرمز سخت و گندم زمستانه قرمز نرم حساب می شود. سه کوکتل مختلف از میکروارگانیسم ها با مخلوط کردن تهیه شد: (الف) پنج سویه AU516 T2، E. coli O157: H7، AU1181

LEE3، AU726 LEE2، AU1809 LEE2، و (AU1823ب) پنج
سرووار سالمونلا انتریکا (Typhimurium, Enteritidis IV/NVSL 94-13062, Heidelberg/Sheldon 3347-1, Infantis and Mbandaka)؛ و (ج) شش سروتیپ غیر O157 شیگا توکسین تولید کننده O111، O103: H11، O45: H2، E. coli STEC: O26: H11، O121: H19 و O145. اثر متقابل دمای ذخیره سازی و محلول های معتدل در کاهش جمعیت میکروبی کم بود، بنابراین اثرات به طور مستقل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با افزایش دما و زمان نگهداری، جمعیت میکروبی کاهش یافت. با توجه به محلول های تمپر، مؤثرترین محلول اسید لاکتیک با 5٪ با نمک طعام در 26.5٪ با میانگین کاهش 2.6، 2.4 و 2.4 log CFU/g در گونه های سالمونلا، E. coli O157:H7 و non-O157 بود. STEC به ترتیب. بنابراین، محلول های نمک اسیدی مورد استفاده برای معتدل کردن دانه ها، روش های ضد عفونی امیدوارکننده ای هستند. اما مطالعات بیشتری در مورد تأثیر آنها بر غیرفعال کردن اسپورهای قارچی و باکتریایی مورد نیاز است. ملاحظات بیشتری باید در رابطه با تأثیر محلول های معتدل اسید آلی نمکی بر خوردگی فلز یا نمک تجمعی در تجهیزات آسیاب و همچنین هزینه های عملیاتی استفاده از این ضد عفونی کننده در نظر گرفته شود.

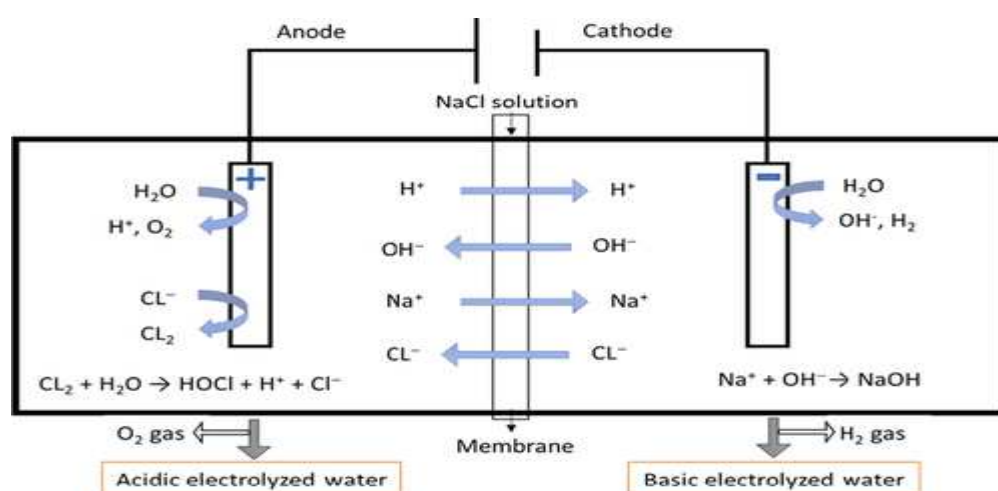
2.3 آب الکترولیز شده EW

آب الکترولیز شده EW یک عامل ضد میکروبی موثر است که به طور گسترده به دلیل اثر ضد آلودگی آن بر میوه ها، سبزیجات، گوشت ها و

تجهیزات پردازش مواد غذایی مورد مطالعه قرار گرفته است EW. به عنوان یک عامل شیمیایی برای کاهش بار میکروبی گندم در حین تعدیل در نظر گرفته شده است زیرا باقیمانده های سمی روی سطوح تحت درمان با محصولات باقی نمی گذارد و خطری برای کارگران ایجاد نمی کند.

برای تولید EW، به واحدی متشکل از یک غشاء (سلول الکتrolیتی) نیاز است که دو الکتروود را از هم جدا کند: یک آند (شارژ +) و یک کاتد (شارژ -) (شکل 1). یک محلول نمک رقیق، به عنوان مثال، NaCl رقیق، از طریق سلول الکتrolیتی عبور داده می شود در حالی که الکتروودها تحت ولتاژ جریان مستقیم 9-10 V قرار می گیرند. به دلیل الکتrolیز، محلول نمک رقیق به یون های دارای بار منفی Cl^- و OH^- و یون های دارای بار مثبت Na^+ و H^+ تجزیه می شود. یون های دارای بار منفی به سمت آند حرکت می کنند تا الکترون ها را از بین ببرند، بنابراین گاز اکسیژن O_2 ، گاز کلر Cl_2 و EW اسیدی با یون هیپوکلریت محلول OCl^- ، اسید هیپوکلرو HOCl و اسید کلریدریک تشکیل می شود. HCl از سوی دیگر، یون های دارای بار مثبت به سمت کاتد حرکت می کنند تا الکترون ها را بگیرند، بنابراین گاز هیدروژن H_2 و EW بازی به دلیل هیدروکسید سدیم محلول NaOH تولید می کنند. EW اسیدی، که به عنوان یک ضد عفونی کننده استفاده می شود، با pH پایین (2.0-3.0) و پتانسیل کاهش اکسیداسیون بالا (> 1000) (ORP میلی ولت) مشخص می شود، در حالی که EW پایه دارای pH بالاتر (7.0) خواهد بود. -8.0 و ORP کم

(800- تا 900- میلی ولت) (Hricova و همکاران، 2008؛ Hsu، 2005؛ Huang، 2005 و همکاران، 2008). اثر ضد میکروبی EW اسیدی به pH پایین، HOCl محلول، و ORP بالا نسبت داده می شود PH پایین و ORP بالا غشاهای باکتری را حساس می کند و نفوذ سلولی HOCl را تسهیل می کند. یون های کلر با از بین بردن آنزیم های کلیدی، متابولیسم سلولی را مختل می کنند و در نتیجه سنتز پروتئین و اکسیداسیون گلوکز را مختل می کنند و حتی باعث ضایعات DNA می شوند.



با توجه به اثرات ضد میکروبی EW، Chen و همکاران. (2020) کاهش بار میکروبی روی آرد صاف گندم سفید سخت، آرد شفاف و سبوس را پس از تلطیف دانه با EW کمی اسیدی SAEW مورد مطالعه قرار داد. محلول های آب معتدل به گونه ای تهیه شد که دارای چهار غلظت کلرید فعال 10، 30، 50 و 70 میلی گرم در لیتر بود. نشان داده شد که با افزایش غلظت SAEW، کاهش تعداد صفحات کل TPC و YMC افزایش یافت. با بالاترین غلظت SAEW 70 میلی گرم در لیتر، آرد مستقیم به ترتیب کاهش 0.93 و 0.78 log CFU/g TPC و YMC داشت. با این حال،

بدون توجه به غلظت SAEW، تنها تغییرات جزئی برای اسپورهای هوازی مزوفیل مشاهده شد، که دشواری آلودگی‌زدایی هاگ‌ها را برجسته می‌کند. از آنجایی که حتی با بالاترین غلظت SAEW، کاهش میکروبی انجام شده $\log \text{CFU/g} > 1.0$ بود، Chen و همکاران. (2020) اظهار داشت که مقدار اضافه شده آب تلطیف ممکن است برای انجام عقیم سازی کامل کافی نباشد، همچنین سطح ناهموار هسته ها ممکن است از میکروارگانسیم ها محافظت کند و مواد آلی ممکن است فعالیت SAEW را مختل کند. در همان مطالعه، گزارش شد که خواص خمیری و رئولوژیکی آرد مستقیم به طور قابل توجهی تحت تأثیر تیمار SAEW قرار نگرفت.

3 فن آوری های غیر حرارتی

3.1 نور پالسی

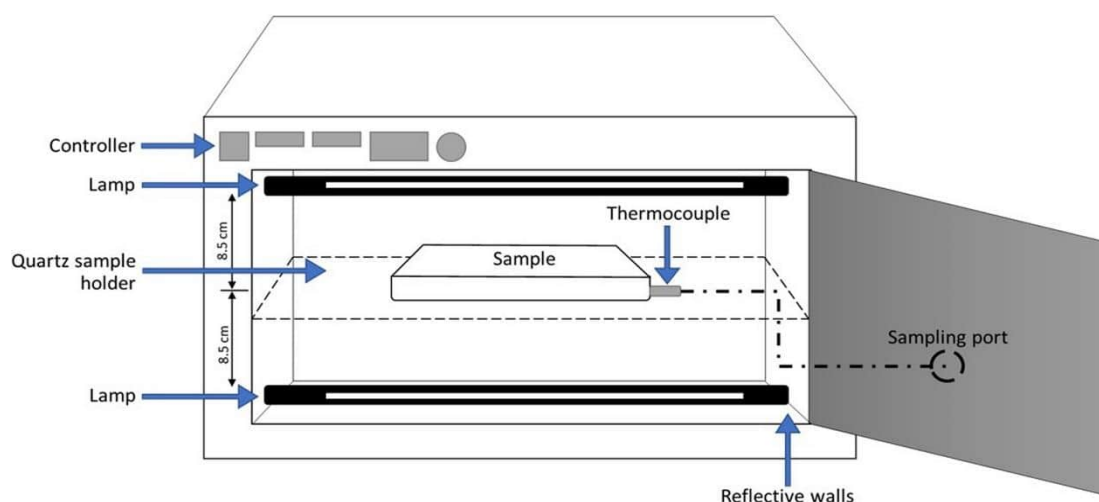
نور پالسی یک فناوری غیر حرارتی برای غیرفعال کردن سریع میکروارگانسیم ها است. فن‌آوری‌های غیرحرارتی جایگزین‌های ضد آلودگی جذابی برای فناوری‌های حرارتی هستند، زیرا می‌توان از تشکیل محصول جانبی و تغییرات نامطلوب در مواد غذایی جلوگیری کرد. اثر غیرفعال‌سازی میکروبی نور پالسی بر روی تجهیزات پردازش مواد غذایی، مواد بسته‌بندی مواد غذایی و همچنین بر روی سطوح غذایی میوه‌ها و سبزیجات مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین، با توجه به کاهش موثر بار میکروبی بر روی غذاهای مورد مطالعه بدون تغییر کیفیت کلی آنها،

نور پالسی به عنوان یک گزینه فناوری ضد آلودگی برای گندم در نظر گرفته شده است.

سیستم نور پالسی از یک واحد قدرت، یک خازن با توان بالا و یک لامپ لامپ زنون یا LED تشکیل شده است. این سیستم ابتدا انرژی را در ظرف کسری از ثانیه در خازن قدرت جمع می کند تا سپس انرژی را به شکل نور از طریق لامپ در عرض نانو ثانیه یا میلی ثانیه آزاد کند. نور تولید شده در طول فرآیند شامل طول موج 100-400 نانومتر (UV)، 400-700 نانومتر (نور مرئی) و 700-1100 نانومتر (مادون قرمز) است. از این نظر، اثر غیرفعال سازی درمان به زمان قرار گرفتن در معرض (ثانیه)، عرض پالس (کسری از ثانیه هنگام تحویل انرژی)، نرخ تکرار پالس (تعداد پالس در ثانیه) و دوز (انرژی دریافتی توسط نمونه در واحد سطح).

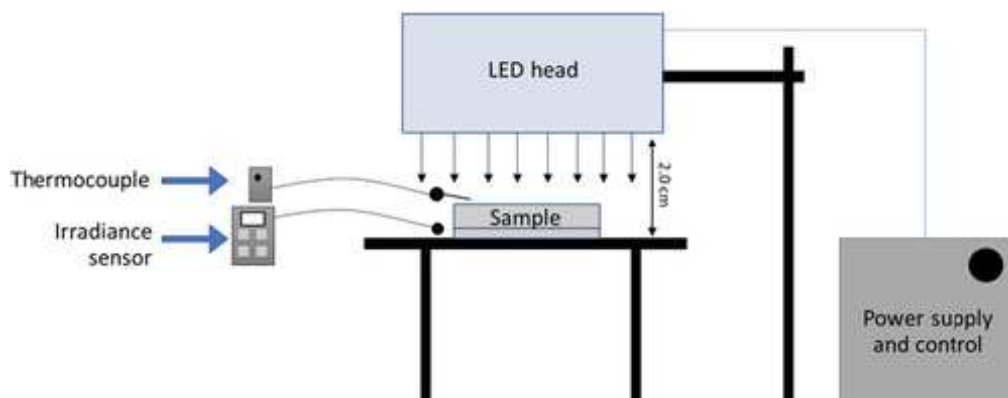
غیرفعال شدن میکروارگانیسم ها در طول درمان با نور پالسی به مکانیسم های فتوشیمیایی و فتوترمال نسبت داده می شود. اثر فتوشیمیایی نور پالسی روی سلول های باکتریایی با تشکیل دایمرهای پیریمیدین توضیح داده می شود که از تشکیل زنجیره های DNA جدید در طول همانندسازی جلوگیری می کند. مکانیسم فتوترمال شامل گرمای بیش از حد موقت سلول به دلیل نور جذب شده است که باعث دناتوره شدن پروتئین و تبخیر آب می شود که منجر به اختلال در غشای سلولی می شود.

یکی از اولین رویکردهای مطالعه تیمار نور پالسی به عنوان یک ضد عفونی کننده گندم توسط آرون مفتی و همکاران ساخته شد. 2014. طرحی از سیستم نور پالسی XeMaticA-2L دو لامپ (شکل 2) را می توان در مطالعه Avalos Llano و همکاران یافت. (2016). این مطالعه با هدف ارزیابی کارایی ضد آلودگی قارچی نور پالسی بر روی دانه گندم انجام شد. محققان گزارش دادند که هرچه تعداد پالس های بیشتری اعمال شود، غیرفعال شدن قالب بیشتر می شود. بنابراین، تیماری که بیشترین آزادسازی انرژی را دریافت کرد 40 فلاش دوز 0.4 cm^2 /لبه کاهش بار قالب 4.0 log CFU/g دست یافت. پس از تیمار ضد آلودگی، درصد جوانه زنی نمونه های گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. درصد جوانه زنی به میزان 14 تا 15 درصد کاهش یافت که بیشترین آزادسازی انرژی اعمال شد. با این حال، یکی از اشکالات اعمال نور پالسی بر روی دانه های گندم این است که طیف نور نمی تواند به میکروارگانیسم هایی برسد که در بی نظمی های سطحی قرار دارند، مانند چین خوردگی گندم، منجر به آلودگی میکروبی ناقص می شود.



یک جایگزین برای غلبه بر ضد آلودگی جزئی غلات، مطالعه تیمار نور پالسی روی آرد گندم است. به این معنا، فاین و جرویس (2004) اثر نور پالسی اعمال شده از طریق بستر سیال (شکل 3) را بر کاهش بار ساکارومایسس سرویزیه روی آرد گندم بررسی کردند. محققان گزارش کردند که پس از بیشترین سطح انرژی اعمال شده، 64 J/cm^2 31.12 پالس، زنده ماندن *S. cerevisiae* روی آرد گندم 89.9 درصد بود. علاوه بر این، تغییرات رنگ مضر پس از اعمال 32 J/cm^2 15.56 پالس به دلیل ترکیبی از گرمای بیش از حد محصول و اکسیداسیون شناسایی شد. تحقیقات بیشتر در مورد ضد عفونی آرد گندم توسط Subedi و همکاران انجام شد. (2020)، که طول موج های مختلف (275، 365، 395، و 455 نانومتر) را برای غیرفعال کردن سویه های مقاوم در برابر حرارت سالمونلا- *S. enterica* serovar Typhimurium ATCC13311، *S. enterica* سرووار *Senftenberg* sp.4 ATCC43 و *Senftenberg* جدایه های فاضلاب: FUA1946، FUA1934 و FUA1955. طرحی از سیستم LED پالسی UV CF3000 Clearstone استفاده شده را می توان در شکل 4 مشاهده کرد. نتایج گزارش شده نشان داد که تیمارهای 395 و 365 نانومتر بیشترین کاهش بار میکروبی (به ترتیب 2.48 و 2.22 $\log \text{CFU/g}$) را در مقایسه با 45 داشتند. نانومتر (کاهش $1.61 \log \text{CFU/g}$ پس از اینکه آرد گندم تحت تیمار نور پالسی قرار گرفت، تغییرات رنگ مشاهده شد. کاهش زردی به اکسیداسیون و تخریب حرارتی کاروتنوئیدها نسبت داده شد. علاوه بر

این، تجزیه و تحلیل پروتئین‌های گلوتن نشان داد که پروتئین‌ها اکسید شده‌اند و باعث تغییرات ساختاری می‌شوند که ظرفیت نگهداری آب گلوتن را کاهش می‌دهد، اما خواص ویسکوالاستیک گلوتن را بهبود می‌بخشد. در یک مطالعه بعدی، دو و همکاران. (2020) بر روی تیمار نور پالسی 395 نانومتر اعمال شده در طول 10، 30 و 60 دقیقه به 0.3 گرم نمونه آرد گندم تلقیح شده با سویه های سالمونلا - ATCC13311، ATCC43845، FUA1934، FUA1934، FUA3.5 و FUA194 در فنجان های a. قطر سانتی متر و عمق 0.45 میلی متر. مطالعه به این نتیجه رسید که پس از 60 دقیقه، حداکثر کاهش سالمونلا $\log 2.91$ CFU/g به دست آمد. این مطالعه تایید کرد که تیمار با طول موج 395 نانومتر دارای اثر سفید کننده بر روی آرد و همچنین پلیمریزاسیون اجزای گلوتن بود که تأثیر قابل توجهی بر خواص رئولوژیکی گلوتن نداشت.



حتی زمانی که تیمارهای نور پالسی به کاهش بار میکروبی روی دانه و آرد گندم دست یافتند، تحقیقات بیشتری برای بهینه سازی فرآیند و افزایش مقیاس آن مورد نیاز است. یکی از مزایای استفاده از نور پالسی در محصولات غذایی عدم وجود ترکیبات باقیمانده است. یک عیب این است

که اثربخشی درمان به عمق نفوذ نور بستگی دارد، بنابراین حداکثر ضخامت یک بستر آرد گندم تیمار شده باید تعیین شود.

3.2 پلاسمای سرد

اصطلاح پلاسما به گاز یونیزه شده اطلاق می شود که توسط ذرات در حالت برانگیخته با بار الکتریکی خالص نزدیک به صفر (خنثی) تشکیل شده است. پلاسمای سرد یا غیر حرارتی از طریق تخلیه الکتریکی به گاز در شرایط اتمسفر یا فشار کاهش یافته (خلأ) تولید می شود. تخلیه الکتریکی باعث می شود که گاز به الکترون ها، یون ها و اتم ها تجزیه شود، در حالی که جریان الکتریکی ایجاد می شود که باعث انتشار یون ها و الکترون ها می شود. هنگامی که گاز مورد استفاده دارای اکسیژن باشد، گونه های ضد میکروبی فعال مانند گونه های فعال اکسیژن، رادیکال های هیدروکسیل، اکسیژن اتمی، اکسیژن منفرد و ازن تشکیل می شوند. گونه های فعال پلاسما دارای اثر اکسیدانی قوی هستند که باعث آسیب سطحی به سلول های میکروبی می شود و منجر به غیرفعال شدن میکروبی می شود.

ضد آلودگی دانه گندم با پلاسما به عنوان جایگزینی امیدوارکننده برای سایر فناوری ها در نظر گرفته شده است زیرا به مواد شیمیایی خطرناک نیاز ندارد. بنابراین هیچ گونه باقیمانده سمی روی دانه باقی نمی ماند و برای اپراتورها بی خطر است. سلجوک و همکاران (2008) کاهش آلودگی

قارچی سطحی *Aspergillus spp.* and *Penicillium spp.* بر روی چندین دانه از جمله گندم دوروم را توسط پلاسمای سرد کم فشار LPCP تعیین کرد. پس از سه دوره 5 دقیقه ای قرار گرفتن در معرض LPCP در مجموع 15 دقیقه درمان، 1٪ از جمعیت قارچی اولیه کاهش یافت. محققان بیان کردند که آلودگی قارچی به زمان قرار گرفتن در معرض درمان و همچنین نوع و سطح دانه های تیمار شده بستگی دارد. علاوه بر این، کورداس و همکاران. (2015) اثر ضد قارچی پلاسمای دمای پایین را بر دانه گندم زمستانه بررسی کرد. جمعیت قارچ روی دانه آزمایش شده عمدتاً از *Alternaria alternata* و قارچ های جنس *Fusarium* و *Gibberella* تشکیل شده است. این تحقیق نتیجه گرفت که زمان بهینه قرار گرفتن در معرض پلاسمای دمای پایین 10 ثانیه بود زیرا کاهش 89.2 درصدی جمعیت قارچ بدون تأثیر منفی بر توانایی جوانه زنی گندم زمستانه حاصل شد. زاهورانووا و همکاران (2016) یک مطالعه اضافی در رابطه با اثرات پلاسمای فشار اتمسفر سرد بر دانه های گندم آلوده مصنوعی به قارچ های رشته ای مختلف انجام داد. این مطالعه گزارش داد که قارچ هایی از جنس *Fusarium* حساس ترین قارچ ها به تیمار پلاسمای بودند، زیرا درمان با قرار گرفتن در معرض 90 ثانیه منجر به غیرفعال شدن کندی های آن شد، در حالی که 240 ثانیه برای غیرفعال سازی آسپرژیلوس فلاووس و *A. niger conidia* مورد نیاز بود. با این حال، *A. clavatus* مقاوم ترین قارچ به درمان پلاسمای بود زیرا 300 ثانیه برای از بین بردن کامل کندی های آن کافی نبود. جدای از غیرفعال سازی

قارچی، اثربخشی پلاسما در مقابل اندوسپورهای باکتریایی بر روی دانه های گندم توسط Butscher و همکارانش مورد مطالعه قرار گرفته است. (2016). پلاسمای پالس آرگون در مقابل یک میکروارگانیزم مدل، *Geobacillus stearothermophilus*، به طور مصنوعی بر روی دانه های گندم تلقیح شده استفاده شد. پس از 300 ثانیه (5 دقیقه) از درمان پلاسما، حدود 85٪ از غیر فعال اندوسپور به دست آمد. محققان به این نتیجه رسیدند که غیرفعال شدن آندوسپور به دلیل یون ها و گونه های اکسیژن موجود در پلاسما است. علاوه بر این، بیان شد که تیمار پلاسما تأثیر مخربی بر کاهش تعداد و محتوای گلوتن نداشت. اثربخشی پلاسمای سرد در مقابل میکرو فلورهای متنوع بر روی گندم توسط Los و همکارانش مورد بررسی قرار گرفت. (2018). این آزمایش قرار گرفتن در معرض پلاسما مستقیم (نمونه قرار داده شده بین الکترودها) را در مقابل غیرمستقیم (نمونه در فاصله 23 سانتی متری از الکترودها) در طول 5 یا 20 دقیقه با زمان های مختلف نگهداری پس از درمان (0، 2، یا 24 ساعت) مقایسه کرد. تیمار پلاسما مستقیم بیشترین کاهش جمعیت میکروبی را پس از 20 دقیقه داشت که $\log \text{CFU/g}$ 1.5 برای باکتری ها و $\log \text{CFU/g}$ 2.5 برای قارچ ها بود. کاهش کمتر، $\log \text{CFU/g}$ 1.2 برای باکتری ها، و $\log \text{CFU/g}$ 1.7 برای قارچ ها، با درمان غیرمستقیم همراه با 2 یا 24 ساعت زمان ماند پس از درمان به دست آمد.

با این حال، ضد آلودگی هسته با پلاسمای سرد به دلیل هندسه دانه گندم و سطح ناهموار چالش برانگیز است. میکروارگانیزم‌ها و هاگ‌ها می‌توانند از خود در برابر گونه‌های فعال تولید شده توسط پلازما در زیر تکه‌های شل سبوس یا در چین‌های هسته محافظت کنند. از این نظر، کاربرد درمان با پلاسمای سرد برای آرد برای کاهش آلودگی میکروبی باید مورد بررسی قرار گیرد. مطالعات قبلی نشان داده است که تیمار آرد گندم با پلاسمای سرد خواص عملکردی آن را اصلاح می‌کند. به عنوان مثال، Misra et al. (2015). اثرات تیمار پلاسمای سرد (60 یا 70 کیلو ولت به مدت 5 یا 10 دقیقه) بر خواص عملکردی آرد گندم سخت و نرم را بررسی کردند. این مطالعه نشان داد که گروه‌های سولفیدریل پروتئین اکسید می‌شوند و بنابراین، بخش‌های سیستم پیوندهای دی سولفیدی تشکیل می‌دهند. تغییرات پروتئین آرد در افزایش ویسکوالاستیک خمیر و همچنین بهبود استحکام خمیر و زمان اختلاط بهینه منعکس شد. افزایش عملکرد آرد به دلیل تغییرات پروتئینی ناشی از پلاسمای سرد (15 یا 20 ولت برای 1 یا 2 دقیقه) نیز توسط بهرامی و همکاران گزارش شده است. (2016). علاوه بر این، محققان ارزیابی کردند که آیا تیمار پلازما با ولتاژ پایین اثر ضد میکروبی روی آرد دارد یا خیر. نتایج نشان داد که احتمالاً به دلیل تیمار ولتاژ پایین و شرایط رطوبت کم آرد (14٪)، سطوح کاهشی در مزوفیل‌های هوازی، ترموفیل‌ها و تعداد قالب‌ها وجود ندارد. بنابراین، اگر اثر ضد میکروبی پلاسمای سرد بر روی آرد ارزیابی شود، تغییرات در عملکرد آن

باید برای اطمینان از یک محصول ایمن و با کیفیت بالا در نظر گرفته شود.

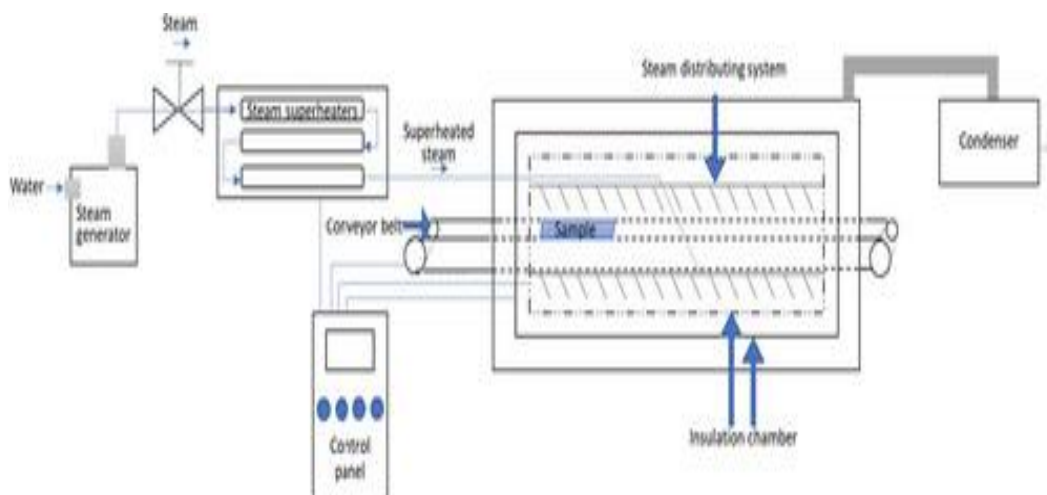
4 فن آوری های حرارتی

4.1 بخار

استفاده از بخار برای دستیابی به کاهش بار میکروبی و استریلیزاسیون سطحی به دلیل سطح بالای انتقال حرارت بخار، روشی پرکاربرد است. با توجه به استفاده از بخار برای کاربردهای غذایی، بخار سوپرهیت و فن آوری بخار خلاء برای اثر ضد آلودگی بالقوه آنها بدون به خطر انداختن کیفیت غذا مورد مطالعه قرار گرفته است. بخار فوق گرم با تامین گرمای محسوس به بخار در یک فشار معین به دست می آید که باعث می شود دما از نقطه اشباع بالاتر برود و در عین حال آنتالپی بالایی را نشان دهد. از طرف دیگر، یک برنامه خلاء هوا و رطوبت یک محیط معین را حذف می کند و به بخار اجازه می دهد تا انتقال حرارتی بسیار سریعی به میکروارگانیسم ها داشته باشد و در نتیجه آنها را غیرفعال می کند. از این نظر، هر دو روش بخار برای پتانسیل غیرفعال سازی پاتوژن بر روی گندم مورد مطالعه قرار گرفته اند.

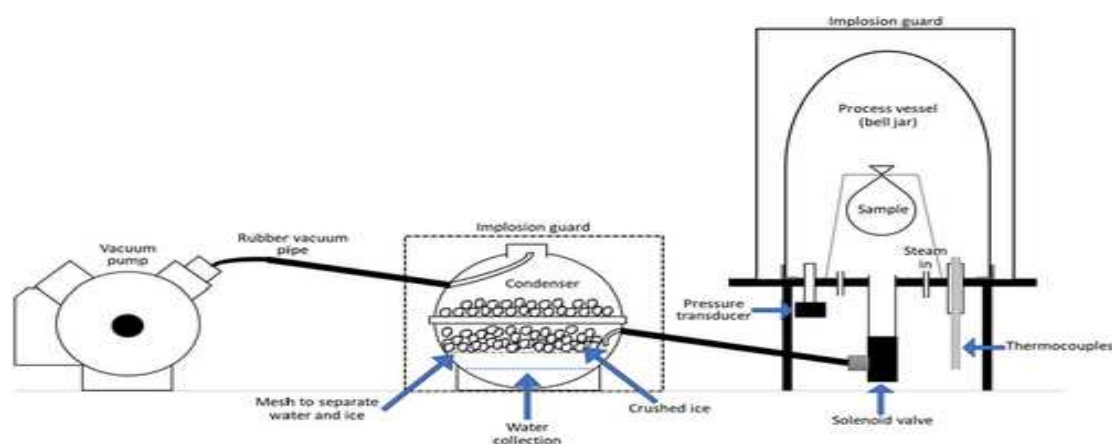
هو و همکاران (2016) غیرفعال شدن میکروبی گندم را با اعمال بخار فوق گرم در دماهای مختلف (110، 140، 170 و 200 درجه سانتی گراد)، سرعت بخار (7.5 و 15.0 متر مکعب در ساعت)، زمان پردازش

(80-10 ثانیه) و شرایط معتدل (با یا بدون تلطیف). نویسندگان یک طرح دقیق از سیستم پردازش بخار فوق گرم را گزارش کردند (شکل 5). تجهیزات پردازش بخار سوپرهیت دارای یک محفظه بسته بود که در آن 200 گرم نمونه دانه گندم، پراکنده در یک سینی مش فلزی، از طریق محفظه منتقل می شد در حالی که در معرض بخار فوق گرم خارج شده از سمت بالا و پایین تسمه نقاله قرار داشت. پس از عملیات بخار فوق گرم، نمونه ها برای ارزیابی بار میکروبی در آرد گندم کامل آسیاب شدند. نتایج نشان داد که بالاترین سرعت (15/0 متر مکعب در ساعت) و تمپر اثر ضد آلودگی را افزایش داد. بسیاری از کاهش بار میکروبی در 10-40 ثانیه به دست آمد. بیان شد که دماهای بالا (170 و 200 درجه سانتیگراد) در مقایسه با گونه های باسیلوس مؤثرتر بودند. نسبت به دمای پایین (110 و 140 درجه سانتیگراد). کاهش 81.8 درصدی گونه های باسیلوس. جمعیت پس از سخت ترین تیمار (200 درجه سانتیگراد، 15.0 مترمکعب در ساعت، 80 ثانیه) امکان پذیر بود، در حالی که قالب ها پس از 30 ثانیه درمان با دمای $100 \leq$ درجه سانتیگراد به طور کامل حذف شدند. اثر تیمار بخار فوق گرم بر عملکرد آرد در این مطالعه گزارش نشده است. با این حال، نویسندگان بیان کردند که تیمار 200 درجه سانتیگراد باعث دناتوره شدن پروتئین می شود، بنابراین بالاترین دمای توصیه شده 170 درجه سانتیگراد بود.



اثر تیمار بخار خلاء برای غیرفعال سازی پاتوژن گندم توسط اسنلینگ و همکاران بررسی شد. (2020). سیستم بخار خلاء مورد استفاده شامل یک سبد فلزی (قطر 25 سانتی متر) بود که در آن نمونه های گندم (1 کیلوگرم) به عنوان بستر دانه (عمق 2.5 سانتی متر) در آن توزیع شد. برای ایجاد یک سیستم نزدیک، سبد فلزی با یک شیشه ای که روی یک صفحه فلزی با پورت هایی برای اضافه کردن بخار قرار داده شده بود، پوشانده شد. یک طرح دقیق از عملیات بخار خلاء اعمال شده توسط اسنلینگ (2019) همانطور که در شکل 6 نشان داده شده است شرح داده شده است. سه دمای مختلف تیمار (65، 75، و 85 درجه سانتیگراد) آزمایش شدند و به مدت 4 یا 8 دقیقه نگهداری شدند. پس از اعمال عملیات بخار خلاء، عملکرد آرد با دمای 70 درجه سانتیگراد به دلیل دنا توره شدن پروتئین دچار تغییرات مضر شد. در نتیجه دمای 65 درجه سانتیگراد شرایط تصفیه را برای حفظ کیفیت محصول فراهم کرد. از این نظر، بیشترین کاهش میکروبی تیمار بخار خلاء در دمای 65 درجه سانتیگراد به مدت 8 دقیقه 3.57 و 3.21 log CFU/g برای *E. coli*

Salmonella enterica subsp O157: H7 و Enterica Enteritidis PT 30 به ترتیب. این مطالعه نشان داد که فناوری بخار خلاء می تواند در صنعت آسیاب برای اطمینان از غیرفعال شدن پاتوژن استفاده شود، بنابراین یک محصول آرد ایمن از نظر میکروبیولوژیکی است.



4.2 گرمایش با فرکانس رادیویی

گرمایش با فرکانس رادیویی (RF) نوعی گرمایش الکتریکی غیرمستقیم است که در آن انرژی الکتریکی به تشعشعات الکترومغناطیسی تبدیل می شود تا سپس بر روی یک محصول گرما تولید شود. گرما توسط امواج الکترومغناطیسی با فرکانس 1 تا 300 مگاهرتز تولید می شود. یک سیستم گرمایش RF شامل یک مولد انرژی (به عنوان مثال، یک شیر تریود یا یک ترانسفورماتور با ولتاژ بالا به توان جریان مستقیم)، یک آداپتور که توان RF را تولید می کند و یک اپلیکاتور است. اپلیکاتور برق RF معمولاً یک جفت الکتروود است که نمونه ای است که بین الکتروودها بدون لمس آنها قرار می گیرد.

فن آوری گرمایش RF به عنوان یک غیرفعال کننده حرارتی پاتوژن ها در نظر گرفته شده است زیرا گرمای تولید شده باعث اصطکاک مولکول های غذا می شود و دما را افزایش می دهد و در نتیجه محیط زندگی بهینه را برای پاتوژن ها مختل می کند. عملیات RF باید در محدوده فرکانس تعیین شده بسته به نمونه اعمال شود، زیرا حرارت بیش از حد می تواند منجر به تخریب کیفیت محصول تیمار شده شود. به عنوان مثال، دنا توره شدن پروتئین و از دست دادن عملکرد آرد گندم. بنابراین، موفقیت غیرفعال سازی میکروبی سیستم های RF به ترکیب سیستم غذایی و میکروارگانیسم هدف بستگی دارد.

جیائو و همکاران (2015) عملیات حرارتی RF 27.12 مگاهرتز، 7 دقیقه را بر روی نمونه های هسته گندم (910 گرم در یک ظرف 16.0×10.5 سانتی متر) که در موقعیت های مختلف بین یک شکاف الکتروود ثابت 6.8×10 سانتی متری برای تشخیص نقاط سرد و گرم قرار داده شده بود، مطالعه کرد. برای افزایش یکنواختی حرارت برای ضد عفونی میکروبی. با این حال، این مطالعه هیچ نتیجه ضد میکروبی را گزارش نمی کند. بیان شد که نمونه های قرار گرفته در وسط الکتروودها دارای یکنواختی دمایی بهتری بودند، با نقاط داغ در گوشه نمونه ها و نقاط سرد در مرکز لایه های بالا و پایین. نویسندگان بیان کردند که یکنواختی گرما را می توان با اجرای حرکت نمونه (به عنوان مثال، استفاده از تسمه نقاله)، یا با احاطه کردن

نمونه با موادی با خواص دی الکتریک مشابه افزایش داد. این تحقیق اهمیت درک نقش هندسه و شکل نمونه و همچنین موقعیت و جهت گیری نمونه به سمت الکترودها را برای دستیابی به گرمایش یکنواخت برجسته کرد. یک چالش ذاتی با پردازش دانه های گندم به دلیل شکل نامنظم آنها وجود دارد، اما اگر گرمایش RF روی آرد گندم اعمال شود، می توان بر این وضعیت یکنواختی غلبه کرد. از این نظر ویلا روخاس و همکاران. (2017) اثر ضد میکروبی گرمایش RF (27 مگاهرتز، >9 دقیقه برای جلوگیری از گرمای بیش از حد) را بر روی آرد گندم ارگانیک با فعالیت های آبی مختلف 0.25، 0.45 و 0.65 a_w مطالعه کرد. آرد تا رسیدن به حداقل دمای 75 درجه سانتیگراد حرارت داده شد. چهار شکاف الکترودها (50، 60، 70 و 90 میلی متر) و سه نوع پلاستیک (پلی تریمید، پلی اتیلن ترفتالات و پلی استایرن) به عنوان مواد اطراف مورد آزمایش قرار گرفتند. غیرفعال شدن میکروبی سرووار *S. enterica Enteritidis* PT 30 و *Enterococcus faecium* NRL B-2354 میکروارگانیزم جانشین برای سالمونلا) ثبت شد. این مطالعه نشان داد که بهترین یکنواختی دما با شکاف الکترودها 90 میلی متری با استفاده از سیلندرهای پلی استایرن برای احاطه نمونه به دست آمد. بیشترین غیرفعال سازی سالمونلا 7 $\log CFU/g$ در 0.45 و 0.65 a_w به دست آمد، در حالی که با 0.25 a_w سطوح غیرفعال سالمونلا و *E. faecium* به ترتیب 5 و 3 $\log CFU / g$ بود. لیو و همکاران (2018) مناسب بودن *E. faecium* (ATCC 8459) را به عنوان جانشین *S. Enteritidis* در مطالعات

پاستوریزاسیون RF با مقایسه زمان مورد نیاز برای کاهش 10 برابر جمعیت میکروبی در یک دمای معین (75، 80 و 85) ارزیابی کرد. درجه سانتی گراد). آرد گندم نرم زمستانه با aw 0.45، 25 درجه سانتی گراد تحت حرارت RF 27 مگاهرتز، ≥ 39 دقیقه قرار گرفت. این مطالعه نشان داد که صرف نظر از دمای تیمار، *E. faecium* در هر زمان انتخاب شده، بازماندگان بیشتری نسبت به سالمونلا داشت، به این معنی که اولی دارای مقاومت حرارتی بالاتری است که آن را برای مطالعات پاستوریزاسیون RF مناسب می‌کند. بنابراین، در یک مطالعه پیگیری، Xu و همکاران. (2018) کارایی غیرفعال سازی پاستوریزاسیون RF در دمای 75، 80 و 85 درجه سانتی گراد، به مدت 10 دقیقه) در آرد گندم نرم (aw 0.45، 25 درجه سانتی گراد) را با استفاده از *E. faecium* NRRL B-2354 ATCC 8459 بررسی کرد. مطالعه به این نتیجه رسید که پس از 10 دقیقه، کاهش بار *E. faecium* به ترتیب 1.0، 2.5 و 4.9 log CFU/g با حرارت دادن آرد گندم در دمای 75، 80 و 85 درجه سانتی گراد بود. مطالعات ذکر شده، فناوری RF را به عنوان یک روش گرمایش سریع امیدوارکننده برای غیرفعال کردن عوامل بیماری‌زا در آرد گندم نشان می‌دهد. با این حال، مطالعات برای ارزیابی تأثیر حرارت دادن دانه‌های گندم بر عملکرد آرد حاصل وجود ندارد.

5. نتیجه گیری

رویکردهای متنوع تا آخرین پیشرفت‌ها برای کنترل پاتوژن‌های خطرناک بالقوه در گندم و آرد گندم شرح داده شد. هندسه دانه گندم یک چالش

برای هر گونه عملیات ضد آلودگی است زیرا می تواند از میکروب ها در سطح نامنظم خود محافظت کند. بیشتر مطالعات ضد عفونی بر روی بار کپک و باکتری های بیماری زا متمرکز شده اند، اما اثربخشی در مقابل اسپورهای قارچی و باکتریایی باید در مطالعات آینده مورد توجه قرار گیرد.

عوامل ضد میکروبی اضافه شده به آب معتدل غلات به عنوان جایگزین های موثر در مقابل تعداد کل باکتری ها، مخمرها و کپک ها پیشنهاد شده است. با این حال، افزایش هزینه های عملیاتی برای آسیاب ها، همچنین اقدامات احتیاطی ایمنی و تاسیسات مقاوم در برابر خوردگی در هنگام استفاده از عوامل ضد میکروبی باید به وضوح بیان شود.

فناوری غیر حرارتی نور پالسی برای دانه گندم به شدت توصیه نمی شود زیرا میکروارگانیسم ها می توانند به راحتی با پنهان شدن در سطوح نامنظم دانه (به عنوان مثال، چین خوردگی) یا سبوس شل از اثر ضد آلودگی فرار کنند. نور پالسی با موفقیت بارسالمونلا را روی آرد کاهش داد. با این حال، نور پالسی نیز باعث تغییر رنگ و اصلاح پروتئین گندم می شود. اثربخشی نور پالسی به تماس آن با مواد (درمان یک بستر نازک) بستگی دارد. بنابراین این جنبه باید به وضوح در هنگام برنامه ریزی یک سیستم با مقیاس نور پالسی برای مقادیر بیشتر آرد در نظر گرفته شود. پلاسمای سرد اثربخشی خود را در برابر کنیدی های قارچی و باکتری های

بیماری زا بر دانه نشان داده است. هزینه های بکارگیری این فناوری در مقیاس صنعتی و زمان مورد نیاز برای تصفیه مقادیر زیادی غلات باید در نظر گرفته شود.

فناوری های حرارتی، مانند استفاده از بخار، پتانسیل آن را در برابر باکتری های بیماری زا روی دانه نشان داده اند. با این حال، دمای اعمال شده نباید باعث ایجاد تغییرات مضر در عملکرد آرد شود. هزینه های تولید بخار باید برای در نظر گرفتن فناوری در مقیاس بزرگ محاسبه شود. از طرفی گرمایش با فرکانس رادیویی روشی موثر برای کاهش بار سالمونلا روی آرد است. تغییرات در عملکرد آرد گزارش نشده است، اما باید به دلیل دمای بالا که در آن آرد در معرض قرار می گیرد، بیان شود.

جدول راهبردهای رفع آلودگی دانه و آرد گندم برای کاهش بار میکروبی

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
Tempering with ozonated water	Soft white and hard red wheat grain	Tempering solutions contained 1.5 and 11.5 ppm ozonated water	With 11.5 ppm: 1.0–2.0 log CFU/g reductions for total bacteria and yeast and mold count (YMC)
Tempering with ozonated water	Durum and hard red spring wheat grain	Tempering solutions contained 10 and 16 ppm ozonated water	With 16 ppm: ≤ 0.5 log CFU/g reductions in YMC and aerobic plate count (APC)

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
Tempering with acidic saline solutions	Hard red winter wheat grain	Tempering solutions contained organic acids (acetic, citric, lactic, propionic; 1.0%, 2.5%, or 5.0%), NaCl (26% or 52%)	With 5.0% lactic acid and 52% NaCl: 4.3 log CFU/g reductions in APC and 4.7 log CFU/g reductions in <i>Enterobacteriaceae</i> (Eb)
Tempering with acidic saline solutions	Soft red winter wheat grain	Tempering solutions contained organic acids (acetic, lactic; 2.5% or 5.0%), NaCl (26.6%)	With 5.0% lactic acid and 26.6% NaCl: 3.2 log CFU/g reductions in APC and 4.5 log CFU/g reductions in Eb
Tempering with acidic saline solutions	Hard red and soft red winter wheat grain	Tempering solutions contained organic acids (acetic, lactic; 2.5% or 5.0%), NaCl (26.6%)	With 5.0% lactic acid and 26.6% NaCl: 2.6 log CFU/g reductions in <i>Salmonella</i> spp., 2.4 log CFU/g reductions in <i>E. coli</i> O157:H7 and 2.4 log CFU/g reductions in non-O157 STEC
Tempering with slightly acidic electrolyzed water (SAEW)	Hard white wheat grain	Tempering solutions contained four concentrations of active chloride content (10, 30, 50, and 70 mg/L)	With 70 mg/L: 0.93 log CFU/g reductions in total plate count (TPC) and 0.78 log CFU/g reductions in YMC

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
Pulsed light	Wheat grain (<i>Triticum aestivum</i> L)	Pulse duration of 0.3 ms, with dose of 0.4 J/cm ² . Six treatments (5, 10, 15, 20, 30, and 40 pulses)	With 40 pulses: 4.0 log CFU/g reduction in mold load
Pulsed light through a fluidized bed	Wheat flour	Pulse duration of 0.3 μ s, with dose of 0.49 J/cm ² . Six treatments (2, 4, 8, 16, 32, and 64 pulses)	With 64 pulses: 10.1% of <i>Saccharomyces cerevisiae</i> load was inactivated
Pulsed light-emitting diode (LED)	Unbleached wheat flour	Pulse duration of 10 ms, with varying doses depending on wavelength. Four different wavelengths (275, 365, 395, and 455 nm)	With 395 nm: 2.48 log CFU/g reduction in <i>Salmonella</i> load
Pulsed LED	Unbleached wheat flour	Pulse duration of 10 ms, with 395 nm wavelength applied during 10, 30, or 60 min	With 60 min: 2.91 log CFU/g reduction in <i>Salmonella</i> load

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
Low-pressure cold plasma	Durum wheat grain	Air–gas or sulfur hexafluoride (SF ₆), gas was injected in a vacuum chamber. Power supply frequency 1 kHz, voltage set at 20 kV. Treatment time was from 5 to 20 min	With SF ₆ gas after 15 min: 99% of fungal load was reduced
Low-temperature plasma	Winter wheat grain	Power supply frequency was 0.1–83 kHz, voltage set at 8 kV. Treatment time was 3, 10, and 30 s	With 10 s: 89.2% of fungal load was reduced
Cold atmospheric pressure plasma	Wheat grain (<i>T. aestivum</i> L.)	Power supply frequency was 14 kHz, voltage set at 20 kV. Treatment time was 3–300 s	With 90 s: <i>Fusarium</i> conidia was inactivated With 240 s: <i>Aspergillus flavus</i> and <i>A. niger</i> conidia were inactivated
Pulsed argon plasma	Wheat grain	Power supply frequency was 10 kHz, voltage set at 8 kV. Treatment time was 5–3,600 s	With 3,600 s: 3 log CFU/g reduction in <i>Geobacillus stearothermophilus</i> endospore load

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
Atmospheric cold plasma	Organic wheat grain	High voltage output of 80 kV, under atmospheric pressure with atmospheric air as working gas. Treatment time 5–20 min	With 20 min: 1.5 log CFU/g reduction for bacteria and 2.5 log CFU/g reduction for fungi
Cold atmospheric pressure plasma	Wheat flour (<i>T. aestivum</i> L.)	Power supply frequency was 9 kHz, voltage at 15–20 kV. Treatment time was 60 or 120 s	No reduction levels were achieved on the aerobic mesophiles, thermophiles, and molds counts
Superheated steam	Winter wheat grain (<i>T. aestivum</i> L.)	Steam temperatures (110, 140, 170, and 200°C), steam velocities (7.5 and 15.0 m ³ /hr), time (10–80 s), and with or without tempering	With 200°C, 15.0 m ³ /hr, 80 s: 81.8% of <i>Bacillus</i> spp. load was reduced
Vacuum steam	Hard red spring wheat grain	Three temperatures (65, 75, and 85°C) were hold for 4 or 8 min in a closed system. Samples (1 kg) treated as a grain bed	With 65°C for 8 min: 3.57 log CFU/g reductions in <i>E. coli</i> and 3.21 log CFU/g reductions in <i>Salmonella</i>

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
		(depth of 2.5 cm)	
Radio frequency (RF) heating	Soft white wheat organic pastry flour (Eden Foods, MI)	0.5 kW, 27 MHz RF heating unit. Four electrode gaps (50, 60, 70, and 90 mm) and three surrounding materials (polyetherimide, polyethylene terephthalate, and polystyrene)	With 90 mm electrode gap using polystyrene cylinders: 7 log CFU/g reductions in <i>Salmonella</i>
RF pasteurization	Soft winter wheat organic flour (Eden Foods, MI)	6 kW, 27.12 MHz RF heating unit. Electrode gap 35 mm. Aluminum test cells. Three temperatures (75, 80, and 85°C)	With 85°C, 33 min: 3.7 log CFU/g reductions in <i>Enterococcus faecium</i> and 5 log CFU/g reductions in <i>Salmonella</i>

Decontamination strategy	Treated material	Treatment description	Greatest microbial load reductions
RF pasteurization	Soft winter wheat organic flour (Eden Foods, MI)	6 kW, 27.12 MHz RF heating unit. Polyetherimide container. Three temperatures (75, 80, and 85°C)	With 85°C, 27 min: 4.9 log CFU/g reductions in <i>E. faecium</i>