تأثیر جت پلاسمای سرد بر عمر ماندگاری و ویژگی‌های کیفی توت فرنگی

مریم احمدنیا[۱]، مرتضی صادقی[۲*]، روزبه عباس‌زاده[۳]، حمیدرضا قمی[۴]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۲] دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۳] استادیار فن آوری‌های پس از تولید، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

[٤] دانشیار پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی

*sadeghimor@cc.iut.ac.ir

چکیده

بیماری‌های مختلف به وجود آمده در میوه‌ها و سبزیجات پس از برداشت آن‌ها، عامل ایجاد خسارات شدید اقتصادی در سراسر جهان به شمار می‌آیند. توت فرنگی میوه‌ای به شدت فساد پذیر بوده که مستعد آسیب‌های مکانیکی، پوسیدگی و اختلالات فیزیولوژیکی، طی انبارمانی است. امروزه کاهش ضایعات پس از برداشت محصولات تازه کشاورزی با هدف افزایش امنیت غذایی و جلوگیری از هدر رفت سرمایه، یکی از مسائل اساسی پیش روی جوامع می‌باشد. در این تحقیق از پلاسمای سرد با هدف افزایش عمر نگه‌داری و کاهش سرعت تخریب ویژگی‌های کیفی توت فرنگی طی ۷ روز انبارمانی استفاده شد. نمونه‌های توت فرنگی‌ها با جت پلاسمای سرد به مدت ۵ دقیقه با گاز هلیوم تیمار شده و شاخص‌های رنگ بلافاصله بعد از اعمال پلاسما اندازه گیری شدند. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین این شاخص‌ها برای نمونه‌های شاهد (عدم اعمال پلاسما) و تیمار شده وجود نداشت. با توجه به نتایج ارزیابی حسی انجام شده پس از روز ۷ نگهداری، شاخص‌های بافت، رنگ و پذیرش کلی (مقبولیت) نمونه‌هایی که تحت تیمار پلاسما قرار گرفته بودند، به طور معنی‌داری بهتر از نمونه‌های شاهد بودند و در مورد عطر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بنابراین، نتیجه‌گیری می‌شود که پلاسمای سرد می‌تواند به عنوان رویکرد نوینی در افزایش ماندگاری توت فرنگی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی حسی، پس از برداشت، پلاسما، توت فرنگی، ماندگاری

مقدمه

توت فرنگی با نام علمی (*Fragaria ananassa*) میوه‌ای نسبتا جدید است که ۳۰۰–۲۵۰ سال قبل به شکل امروزی وجود نداشته و بیشتر موارد استفاده دارویی داشته است (هارونی و عباسی، ۱۳۹۰). این میوه، غنی از ترکیبات فنلی از جمله آنتوسیانین بوده که رنگ قرمز روشن به میوه می‌دهد. توت فرنگی در ایران هم به طور طبیعی و خودرو و هم به عنوان گیاه باغی کشت

می‌شود (کاووسی، ۱۳۹۲). میوه توت فرنگی غیرفرازگرا و دارای فسادپذیری بالایی است. این میوه باید در حالت کاملا رسیده برداشت شود تا بیشترین کیفیت را از نظر ظاهری، بافت، طعم و مقدار مواد غذایی داشته باشد (Hernandez-Munoz *et al*., 2008). توت فرنگی تازه برداشت شده بسیار مستعد به آسیب مکانیکی، کم آبی، پوسیدگی و زوال فیزیولوژیکی است. دلایل اصلی فساد پس از برداشت توت فرنگی را می‌توان به بروز مخمر و رشد کپک نسبت داد. ضایعات توت فرنگی از مرحله برداشت تا رسیدن به دست مصرف کننده حدود ۳۰ درصد برآورده شده است. بنابراین، کاهش سرعت تخریب ویژگی‌های کیفی آن، یکی از چالش‌های مهم محسوب می‌گردد (امامی‌فر، ۱۳۹۳).

همان‌طور که گفته شد، بیشتر مواد غذایی تازه یا فرآوری شده در معرض آلودگی میکروبی قرار دارند. بنابراین، همواره نیازمند راهی برای جلوگیری وکنترل این آلودگی‌ها هستیم. استفاده از روش ضد عفونی شیمیایی یا درمان فیزیکی اغلب با عدم مقبولیت مصرف کننده و راندمان پایین همراه می‌باشد. شستشوی مبتنی بر کلر به طور گسترده‌ای برای ضد عفونی کردن محصولات تازه استفاده می‌شود. با این حال، در برخی از کشورهای اروپایی از جمله آلمان، هلند، سوئیس و بلژیک استفاده از کلر برای شستن فرآورده‌های تازه و برش‌های میوه‌ها ممنوع است. در نتیجه، تقاضاهای مصرف کننده و معایب تکنولوژی‌های موجود، سبب توسعه روش‌های جایگزین و به ویژه غیر حرارتی شده است (Misra *et al*., 2014). بنابراین، توسعه روش‌های موثر برای حذف آلودگی میکروبی محصولات تازه، از اهمیت خاصی برخوردار است (Baier, *et al*., 2014). تحقیقات زیادی در زمینه گسترش روش‌های نوین غیر حرارتی از قبیل فرآوری فشار هیدرواستاتیکی بالا و میدان الکتریکی پالسی انجام گرفته است که با ارائه نتایج خوب همراه بوده است. با این حال، تجهیزات لازم برای راه اندازی روش فشار هیدرواستاتیکی بالا سرمایه‌بر است (Misra *et al*., 2014).

پلاسمای گازی غیرحرارتی یک تکنیک جدید برای کاهش بار میکروبی در میوه‌ها و سبزیجات تازه است (Baier, *et al*., 2014). فناوری پلاسما یکی از فناوری‌های نوین است که امروزه کاربردهای زیادی در صنایع مختلف از جمله صنایع غذایی پیدا کرده است. پلاسما در واقع به حالت چهارم ماده اطلاق می‌شود، اصطلاح پلاسما به گاز الکتریکی خنثی تشکیل شده از مولکول‌ها، اتم‌ها، یون‌ها و الکترون‌های آزاد اشاره دارد که از آن می‌توان برای سترون‌سازی لوازم و تجهیزات پزشکی، تجهیزات مورد استفاده در صنایع غذایی و سترون‌سازی و فرآوری مواد غذایی استفاده کرد (هارونی و عباسی، ۱۳۹۰; Misra *et al*., 2014). زمانی که به یک گاز انرژی وارد شود، مثلا در یک میدان الکتریکی قرار گیرد، اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و دارای بار مثبت شده و به عبارتی یونیزه می‌شوند. در حقیقت می‌توان گفت پلاسما به گاز یونیزه شده‌ای اطلاق می‌شود که همه یا بخش قابل توجهی از اتم‌های آن یک یا چند الکترون از دست داده و به یون مثبت تبدیل شده‌اند. پلاسما شامل یون‌های مثبت، الکترون‌ها، اتم‌ها و یا گاز خنثی، امواج فرابنفش، رادیکال‌های آزاد و اتم‌ها و مولکول‌های برانگیخته می‌باشد (مظلوم و همکاران، ۱۳۹۲).

رایج‌ترین روش برای تولید و پایدار نگه‌داشتن یک پلاسمای سرد اتمسفری برای کاربردهای تکنیکی و تکنولوژیکی، اعمال میدان الکتریکی به یک گاز خنثی است. با اعمال میدان الکتریکی، حامل‌های باردار آزاد این میدان سرعت گرفته و هنگام برخورد این ذرات حمل کننده باردار با اتم‌ها و مولکول‌های درون گاز یا سطح الکترودها، ذرات باردار جدید تولید می‌شوند. این عمل معمولا

منجر به تولید بهمنی از ذرات باردار می‌شود که در نهایت با از دست رفتن برخی حامل‌های باردار و رسیدن به تعادل، پلاسمای پایدار پدید می‌آید.

تمامی پلاسماهای ساخت بشر را می‌توان به طورکلی به دو دسته طبقه‌بندی کرد که عبارتند از پلاسمای گرم (پلاسمای تعادل ترمودینامیکی ناحیه‌ای) و پلاسمای سرد (بدون تعادل ترمودینامیکی ناحیه‌ای). پلاسمای گرم به وسیله قوس‌های الکتریکی، واکنش‌های هسته‌ای و تحریک لیزری و شعله و مایکروویو تولید می‌شود. در این نوع پلاسما درجه‌ی یونیزاسیون نزدیک به ۱۰۰ درصد است و الکترون‌ها، اجزای اتمی و سایر ذرات در دمای خیلی زیاد و یکسان می‌باشند. پلاسمای سرد نیز در واقع سرد نبوده و حتی دمای الکترون‌ها در آن به ۱۰۰۰ درجه سلسیوس هم می‌رسد، اما در این نوع فقط بخش کوچکی از ذرات نزدیک به ۱ درصد یونیزه می‌شوند و به همین دلیل فرکانس برخوردهای الاستیک بین الکترون‌ها و اتم‌ها پایین بوده و الکترون‌ها فرصت زیادی برای انتقال انرژی خود به گاز را ندارند و نمی‌توانند گونه‌های سنگین را به طور موثر گرم کنند. بنابراین، گاز زمینه در دمای محیط و یا نزدیک به آن باقی می‌ماند، در نتیجه دمای الکترون خیلی بزرگ‌تر از دمای گاز می‌گردد و منجر به یک عدم تعادل حرارتی موضعی می‌شود. این فرآیند برای مواد حساس به حرارت مناسب باشد (عبدی و نیاکوثری، ۱۳۹۲; مظلوم و همکاران، ۱۳۹۲). در نتیجه، پلاسمای سرد یک فناوری غیرحرارتی جدید است که برای ضد عفونی بیولوژیک و استرلیزه کننده سطوح، ابزار پزشکی، آب، هوا، غذا، بافت‌های زنده و سطح محصولات تازه به کار گرفته می‌شود. پلاسما علاوه بر خاصیت ضد میکروبی دارای مزایای غیر شیمیایی و عدم نیاز به آب و امکان استفاده در فشار اتمسفر و دمای اتاق می‌باشد (Lacombe *et al.*, 2015). پلاسمای سرد با استفاده از برق و گاز حامل مانند هوا، اکسیژن، نیتروژن و یا هلیم تولید می‌شود. طی تحقیقی گزارش شد که پلاسمای سرد می‌تواند میکروارگانیسم‌های ذغال اخته را غیر فعال سازد و برای بهبود ایمنی و کیفیت محصول بهینه شود (Lacombe *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر، محصولات فندق، پسته، بادام زمینی به طور مصنوعی به قارچ آلوده شده و نمونه‌های تلقیح شده به مدت‌های مختلف تحت پلاسمای سرد کم فشار قرار داده شدند. نتایج نشان داد که مدت ۲۰ دقیقه، زمان بهینه برای کاهش قارچ می‌باشد. همچنین پلاسمای سرد کم فشار به عنوان روش سریع پاکسازی برای از بین بردن آفلاتوکسین تولید کننده قارچ از پوسته آجیل و یک روش ضد عفونی مناسب معرفی شد (Basaran *et al.*, 2008). همچنین تیمار پلاسمای سرد به عنوان ابزاری برای بهبود میکروبیولوژیکی ایمنی سبزیجات تازه و میوه‌های خشک مورد آزمون قرار داده شده است (Lee *et al.*, 2015).

هدف از انجام این تحقیق بکارگیری جت پلاسمای سرد به منظور افزایش عمر نگه‌داری و کاهش سرعت تخریب ویژگی‌های کیفی توت فرنگی طی انبارمانی می‌باشد. در این راستا، شاخص‌های بافت، رنگ و پذیرش کلی (مقبولیت) نمونه‌ها تحت تیمار پلاسما مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش ها

نمونه‌های توت فرنگی تازه از یک بازار محلی در کرج خریداری شد. انتخاب نمونه‌ها به طور یکسان و بر اساس رنگ، اندازه و عاری بودن از فساد ظاهری و صدمه مکانیکی قابل رویت انجام شد (Han *et al*., 2014). دستگاه تولید پلاسمای مورد استفاده در این تحقیق از نوع پلاسمای فشار اتمسفر جت بود که شامل یک منبع ولتاژ بالا و کپسول گاز هلیوم و یک پروب جت می‌باشد. دستگاه مولد پلاسمای مورد استفاده دارای بیشنیه ولتاژ عبوری ۱۲ کیلو ولت و توان ۳۰ وات بود. آزمایش‌ها در آزمایشگاه گروه مهندسی زراعی سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران انجام شد. برای انجام آزمایش ابتدا دو گروه توت فرنگی با ویژگی‌های یکسان انتخاب شدند. در هر گروه تعدادی یکسان از نمونه‌ها برای اعمال پلاسما و تیمار کنترل (شاهد) آماده شد. سپس، سطح نمونه‌های توت فرنگی به صورت جداگانه به مدت ۵ دقیقه با استفاده از گاز هلیوم در معرض گاز پلاسما قرار گرفت. فرکانس مورد استفاده نیز برابر با ۶ کیلو هرتز بود. بلافاصله بعد از اعمال پلاسما شاخص‌های رنگ (*l*a*b**) توسط یک دستگاه رنگ‌سنج برای نمونه‌های شاهد و تیمار شده به مدت ۵ دقیقه برای گروه اول تعیین شدند. توت فرنگی‌های گروه دوم که شامل شاهد و تیمار شده به مدت ۵ دقیقه بودند نیز در بسته‌های جداگانه قرار داده شده و در یخچال در دمای ۸-۶ درجه سلسیوس به مدت ۷ روز نگه‌داری شدند. همه آزمایش ها در سه تکرار انجام شد. برای گروه دوم در روز هفتم از نگهداری آزمون ارزیابی حسی انجام شد. بر اساس این آزمون ویژگی‌های رنگ، عطر، بافت و پذیرش کلی نمونه‌ها با استفاده از روش هدونیک پنج نقطه‌ای با درجه‌بندی کیفی امتیازی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در این ارزیابی عدد ۵ خیلی خوب، عدد ۴ خوب، عدد ۳ متوسط، عدد ۲ ضعیف و عدد ۱ بسیار ضعیف را نشان می‌داد (امامی‌فر، ۱۳۹۳). بعد از جمع آوری داده‌ها و انتقال به نرم افزار EXCEL به عنوان پایگاه داده، بر اساس فرضیه‌های تحقیق آنالیز داده‌ها در قالب طرح کاملا تصادفی توسط نرم افزار SPSS انجام گرفت.

نتایج و بحث

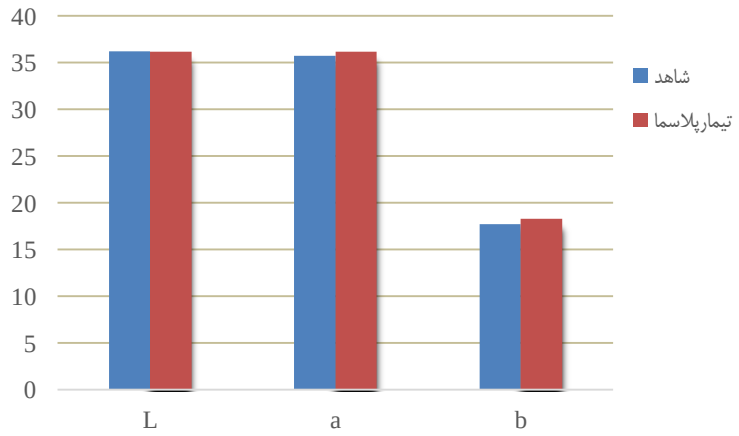
بر اساس نتایج آماری با بررسی شاخص‌های رنگ سطح توت فرنگی گروه اول، هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های شاهد و تیمار شده به مدت ۵ دقیقه مشاهده نشد. به عبارت دیگر، می‌توان گفت اعمال پلاسمای سرد فشار اتمسفر جت اثر منفی بر رنگ نمونه‌های توت فرنگی نداشت. نتایج آزمون t در جدول ۱ و نمودار مقایسه میانگین‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. در مطالعه‌ای بار میکروبی ادویه‌جات و گیاهان دارویی با استفاده از پلاسمای فشار اتمسفر سرد کاهش یافت. همچنین با بررسی ویژگی‌های کیفی قبل و بعد از اعمال پلاسما دریافت شد که اعمال پلاسما تاثیری بر کیفیت و رنگ محصول نداشت (Hertwig *et al*., 2014).

نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از ارزیابی حسی اثر پلاسما بر روی شاخص‌های رنگ، بافت، بازار پسندی (مقبولیت) تیمار شاهد و تیمار پلاسما پس از ۷ روز انبارداری برای گروه دوم در سطح ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۲). به هر

جهت، همان طور که در جدول مشاهده می‌شود، بین شاخص عطر نمونه شاهد و تیمار تحت پلاسما تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. پلاسمای اعمال شده به توت فرنگی اثر قابل توجهی بر عمر ماندگاری آن داشت، به طوری که تیمارهای با اعمال پلاسما پس از ۷ روز انبارمانی قابل عرضه به بازار بوده در حالی که در نمونه‌های شاهد طراوت بافت از بین رفته و بر روی سطح میوه‌ها رشد کپک و آثار لهیدگی و آب اندازی کاملا مشهود بود. این نتیجه ناشی از آن است که میکروارگانیسم‌ها در مواجه با بمباران شدید پلاسما به واسطه حضور ذرات باردار الکترون و یون، اشعه فرابنفش، رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال شیمیایی دچار آسیب سطحی و پارگی دیواره سلول می‌شوند و سلول زنده نمی‌تواند به سرعت و کامل آن را ترمیم کرده و بسیاری از سلول‌ها نیز به همین دلیل از بین می‌روند. در تحقیقی تغییرات مورفولوژیک سلول باکتری E.coli تحت تیمار پلاسما به مدت ۲ دقیقه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مشاهده شد. ارزیابی تصاویر نشان داد که سلول‌های تیمار شده تغییر شکل شدید سیتوپلاسمی و نشت کروموزوم باکتریایی داشتند (Hong *et al.*, 2009). در نتیجه، افزایش عمر ماندگاری و کاهش سرعت تخریب ویژگی‌های کیفی و ظاهر بهتر توت فرنگی های تیمار شده با پلاسما را می‌توان به از بین رفتن میکروارگانیسم‌های سطحی نسبت داد. لازم به ذکر است که پلاسما دارای اثر سطحی است، به بیان دیگر پلاسما در محصول نفوذ نمی‌کند و در نتیجه تغییر فقط در سطح محصول صورت می‌گیرد.

جدول ۱- مقایسه شاخص‌های رنگ توت فرنگی‌های شاهد و پلاسما شده (بلافاصله بعد از اعمال پلاسما) با استفاده از آزمون t

	t		
درجه آزادی	l^*	b^*	c^*
۴	۰/۰۲۳	-۰/۲۸۲	-۰/۳۶۲

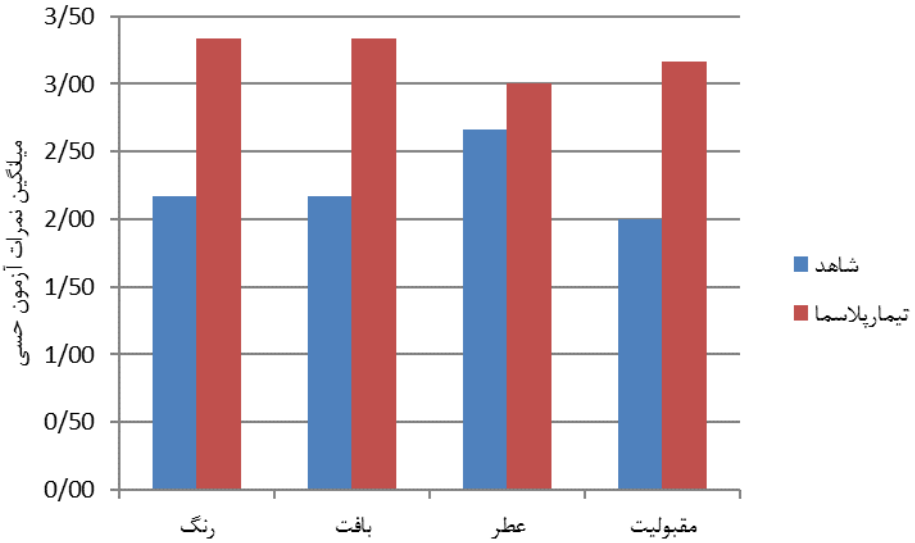


شکل ۱- مقایسه میانگین شاخص‌های رنگ توت فرنگی‌های تحت تیمار پلاسما و شاهد (بلافاصله بعد از اعمال پلاسما)

جدول ۲- مقایسه نتایج ارزیابی حسی توت فرنگی های شاهد و پلاسما شده با استفاده از آزمون *t*

	t			
درجه آزادی	رنگ	بافت	عطر	مقبولیت
۱۰	-۲/۲۳۶*	-۳/۱۳*	-۰/۶۴۷	-۲/۹۰۷*

*معنی دار در سطح احتمال ۵٪



شکل ۲- مقایسه میانگین نمرات ارزیابان برای توت فرنگی‌های شاهد و پلاسما شده (پس از ۷ روز نگهداری)

نتیجه‌گیری کلی

به دلیل مطالعات کمی که در استفاده از تکنولوژی پلاسمای سرد در فراوری مواد غذایی، اثرات پلاسمای غیر حرارتی بر خواص تغذیه‌ای و شیمیایی مواد غذایی به خوبی شناخته نشده است. بنابراین، لازم است تا چگونگی تأثیر پلاسما بر کیفیت و ایمنی محصول مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش، اثر جت پلاسمای سرد بر ماندگاری و خواص کیفی توت فرنگی شامل شاخص‌های بافت، رنگ و پذیرش کلی (مقبولیت) مطالعه شد. با توجه به نتایج حاصل نتیجه‌گیری می‌شود که پلاسمای سرد می‌تواند به عنوان یک رویکرد نوین در افزایش ماندگاری توت فرنگی مورد توجه قرار گیرد.

منابع

امامی فر، آ. ۱۳۹۳. ارزیابی تأثیر ژل آلوئه‌ورا به عنوان پوشش خوراکی بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی توت فرنگی تازه طی انبارداری، علوم و فناوری‌های نوین غذایی. شماره ۶، صفحه ۱۵-۲۹.

عبدی، م. و م. نیاکوثری. ۱۳۹۲. مروری بر پلاسمای سرد (cold plasma) و کاربرد آن در صنایع غذایی، بیست و یکمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه شیراز، ۷ تا ۹ آبان‌ماه ۱۳۹۲، شیراز.

کاووسی، ب. ۱۳۹۲. اثر اندازه ذرات بستر کشت پالم و رقم بر برخی از خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی. اولین همایش ملی الکترونیکی مباحث نوین در علوم باغبانی دانشگاه جهرم، ۲۸ تا ۲۹ آبان‌ماه ۱۳۹۲، جهرم.

مظلوم، س.، م. فلاح شجاعی، ح. کمانی و ح. ا. میرزایی. ۱۳۹۲. مروری بر امکان استفاده از فناوری پلاسمای سرد در صنعت بسته بندی. علوم و فنون بسته بندی، شماره ۴، صفحه ۴۸-۶۱.

هارونی، ا. و س. عباسی. ۱۳۹۰. تکنولوژی پلاسما روش‌های تولید وکاربرد آن در صنایع غذایی، بیستمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی شریف، ۱ تا ۳ آذرماه ۱۳۹۰، تهران.

Agafonov, N. V. and E. P. Solovei. 1975. The effect of gibberellins and chlorocholine chloride on runner growth and productivity in strawberry. Journal of Food Science and Technology. 186: 211–216.

Baier, M., M. Görgen, J. Ehlbeck, D. Knorr, W. B. Herppich and O. Schlüter. 2014. Non-thermal atmospheric pressure plasma: Screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 22: 147–157.

Basaran, P., N. Basaran-Akgul and L. Oksuz. 2008. Elimination of Aspergillus parasiticus from nut surface with low pressure cold plasma (LPCP) treatment. Food Microbiology. 25: 626–632.

Han, C., S. W. Zhao and M. Leonard. 2004. Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (Fragaria Xananassa) and raspberries Rubus ideas Postharvest Biology and Technology. 33: 67–78.

Hernandez-Munoz, P., E. Almenar, V. Del Valle, D. Velez and R. Gavara. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry

(Fragaria ananassa) quality during refrigerated storage. Food Microbiology. 110: 428–435.

Hertwig, C., K., Reineke, J., Ehlbeck, B., Erdoðdu, C., Rauh, O., Schlüter. 2014. Impact of remote plasma treatment on natural microbial load and quality parameters of selected herbs and spices. Journal of Food Engineering. 167: 12-17

Lacombe, A., A. N,. Brendan, J. B., Gurtler, X,. Fan, J,. Sites, G., Boyd, H., Chen. 2015. Atmospheric cold plasma inactivation of aerobic microorganisms on blueberries and effects on quality attributes. Food Microbiology 46: 479-484

Lee, H., J. E., Kim, M. S., Chung, S. C., . Min. 2015. Cold plasma treatment for the microbiological safety of cabbage,lettuce, and dried figs. Food Microbiology. 51: 74- 80

Misra, N. N., S. Patil, T. Moiseev, P. Bourke, J. P. Mosnier, K. M. Keener and P. J. Cullen. 2014. In-package atmospheric cold plasma treatment of strawberries. Journal of Food Engineering. 125: 131–138.

Misra, N. N., K. M. Keener, P. Bourke, J. P. Mosnier and P. J. Cullen. 2014. In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. Journal of Bioscience and Bioengineering. 118 (2): 177–182.