بررسی تغییرات بیوشیمیایی شیر در طی فرآوری پلاسمای سرد

INC29-1097

آزاده رشیدی مهر[۱]، آزاده برجسته [۲*]

۱. گروه علوم پایه، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه لرستان، صندوق پستی ۴۶۵،خرم آباد-ایران
۲. گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، صندوق پستی ۴۶۵، خرم آباد- ایران

چکیده:

امروزه فناوری‌های جدید به یکی از جنبه‌های ضروری جهت فرآوری مواد غذایی تبدیل شده‌اند که هدف آن‌ها افزایش ماندگاری مواد غذایی با بهبود کیفیت و حفظ ترکیبات فعال در مواد غذایی است. یکی از این فناوری‌های جدید که امروزه به‌شدت در صنایع غذایی موردتوجه قرار گرفته است، استفاده از پلاسمای سرد است. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات احتمالی بیوشیمیایی در pH، ساختارهای ثانویه پروتئین‌ها، چربی تام و اسیدهای چرب شیر خام گاو پس از تیمار با پلاسمای سرد انجام گرفت. شیر خام در فواصل بین ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ثانیه تحت تأثیر پلاسمای سرد قرار گرفت. pH تحت تیمار پلاسمایی، به مقدار جزئی کاهش یافت. نتایج آنالیز اسیدهای چرب با NIR، افزایش در مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع را نشان داد. همچنین طیف‌سنجی FTIR که برای مطالعه تغییرات در ساختار ثانویه پروتئین‌های شیر استفاده می‌شود، افزایش کلی در ساختارهای ثانویه را نشان داد. مطالعات بیشتری موردنیاز است تا پلاسمای سرد را به‌عنوان یک روش جایگزین در استریلیزاسیون شیر تائید کند.

کلیدواژه‌ها: ساختارهای ثانویه، اسیدهای چرب، هلیوم، FTIR، پلاسمای سرد

Investigating the biochemical changes of milk during cold plasma processing

Azadeh Rashidimehr[1], Azadeh Barjasteh[2*]

1. Basic Sciences Department, Faculty of Veterinary Medicine, Lorestan University, P.O.BOX: 465, Khorramabad-Iran.
2. Basic Science Department, Faculty of Physics, Lorestan University, P.O.BOX: 465, Khorramabad-Iran.

Abstract:

This study investigated the possible biochemical changes of pH, total fat, free fatty acids and secondary structure of proteins of whole raw milk samples following application of cold plasma. Raw milk was treated with a cold plasma system at intervals of 100, 200 and 300 seconds. pH decreased slightly under plasma treatment. The results of the analysis of fatty acids with NIR showed an increase in the amount of saturated and unsaturated fatty acids. Also, FTIR spectroscopy used to study the changes in the secondary structure of milk proteins revealed an overall increase in secondary structure of proteins. More studies are required to validate cold plasma as an alternative technique in milk sterilization.

Keywords: Secondary structure, Fatty acids, Helium, FTIR, Cold plasma.

۱. مقدمه

شیر حاوی کربوهیدرات‌ها (لاکتوز)، اسیدهای چرب، پروتئین با کیفیت بالا و ریزمغذی‌های مختلف مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی و عناصر کمیاب است [۱]. فرآوری حرارتی ایمنی میکروبیولوژیکی را بهبود می‌بخشد [۲] اما به‌طور گسترده‌ای به خواص حسی، تغذیه‌ای و فیزیکوشیمیایی محصول آسیب می‌رساند [۳] که منجر به قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی، از بین رفتن ویتامین‌ها و ترکیبات طعمی فرار، کاهش نقطه انجماد و تغییر طعم در محصولات لبنی می‌شود [۴]. علاوه‌براین، این فرآیندها به مصرف انرژی بالایی نیاز دارند که سودآوری محصول نهایی در صنعت را کاهش می‌دهند [۳].

امروزه فناوری‌های جدید به یکی از جنبه‌های ضروری جهت فرآوری مواد غذایی تبدیل شده‌اند که هدف آن‌ها افزایش ماندگاری مواد غذایی با بهبود کیفیت و حفظ ترکیبات فعال در مواد غذایی است. در چند دهه اخیر فناوری‌های جدیدی از قبیل ازن، هایپرباریک، میدان الکتریکی پالسی؛ فشار بالا، پرتودهی و پلاسمای سرد در جهت کاهش یا توقف فساد میکروبی که منجر به افزایش عمر نگهداری محصول می‌شود، مورد مطالعه قرارگرفته است [۵]. استفاده از این روش‌های جدید اگرچه موجب کاهش میکروارگانیسم‌ها و افزایش عمر نگهداری مواد غذایی می‌شود اما می‌تواند روی ترکیبات طبیعی مواد غذایی اثرات نامطلوبی داشته باشد [۶]. یکی از تکنولوژی‌های جدیدی که امروزه به‌شدت موردتوجه قرار گرفته است، پلاسما است. نوآوری این فناوری در ماهیت غیرحرارتی بودن، اقتصادی بودن، چندمنظوره و سازگار با محیط‌زیست بودن آن است. کاربردهای پلاسمای سرد برای صنایع غذایی برای ضدعفونی مواد غذایی، غیرفعال سازی آنزیم، حذف توکسین‌ها، اصلاح بسته‌بندی مواد غذایی و تصفیه فاضلاب ثابت شده است [۷].

از آن‌جایی‌که پلاسمای سرد از گونه‌های واکنش‌پذیر فراوانی همانند فوتون‌ها، یون‌ها و الکترون‌ها تشکیل‌شده بنابراین این ذرات قادرند به‌شدت با اجزای غذا واکنش داده و منجر به منبعی غنی از واکنش شیمیایی مانند دیمریزاسیون، اکسیداسیون، دآمیداسیون، نیتراسیون، سولفوکسیداسیون، دهیدروژنیزاسیون و/یا هیدروکسیلاسیون اسیدهای آمینه [۱]، شوند [۸]. بنابراین، پلاسمای سرد می‌تواند بر ساختار و ترکیب بیومولکول‌ها تأثیر بگذارد. علیرغم بسیاری از مطالعات انجام‌شده در مورد توانایی ضدمیکروبی پلاسما، تحقیقات محدودی در مورد تأثیر پلاسمای سرد روی خود ترکیبات مواد غذایی وجود دارد بنابراین هدف از این مطالعه بررسی تغییرات ساختاری ترکیبات مغذی شیر پس از اعمال پلاسما سرد است.

۲. روش کار

۱.۲ جمع‌آوری نمونه

نمونه‌های شیر خام از مراکز فروش و عرضه شیر تهیه و در شرایط سرد به آزمایشگاه بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه لرستان منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در این بررسی از ۲۵ میلی‌لیتر شیر برای تیمار با پلاسمای سرد استفاده شد.

۲.۲. تیمار پلاسمای سرد

در این مطالعه از جت پلاسمایی سرد فشار اتمسفری استفاده شد. این جت پلاسمایی از یک لوله شیشه‌ای از جنس پیرکس به‌عنوان لایه دی‌الکتریک، یک نوار مسی به عرض ۱سانتی‌متر به‌عنوان الکترود بیرونی، و یک سیم تنگستنی در مرکز لوله به‌عنوان الکترود داخلی تشکیل شده است که نوک نازل آن به فاصله ۲ سانتی‌متر از سطح شیر قرار داده شد. گاز استفاده شده در این بررسی گاز هلیوم با خلوص ۹۹/۹۹۹ در فشار اتمسفر با شار ۳ لیتر بر دقیقه بود. برای تولید پلاسما، از یک منبع ولتاژ Ac استفاده شد که شکل پالس مربعی با دامنه ۵/۴ کیلوولت و فرکانس ۲۰ کیلوهرتز را تولید می‌کند. شماتیک چیدمان جت پلاسمایی در شکل ۱ نشان داده شده است.

[1] dimerization, oxidation, deamidation, nitration, sulfoxidation, dehydrogenation, and/or hydroxylation of amino acids

۲. ۳. pH

اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pHمتر (Mettler Toledo, Switzerland) انجام شد.

۲. ۴. اندازه‌گیری اسیدهای چرب

نمونه‌های شیر خام و تیمار شده با پلاسما از نظر چربی تام، Solid not fat، اسیدهای چرب پالمتیک، استئاریک، اولئیک و اسیدهای چرب با یک پیوند دوگانه، اسیدهای چرب با چند پیوند دوگانه و اسیدهای چرب فرار، توسط دستگاه طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک[۲] (NIR, Perten DA7250, Sweden) موردبررسی قرار گرفت. NIR دارای دامنه کاری ۹۵۰-۱۶۵۰ نانومتر و قدرت تفکیک ۵ نانومتر است که مجهز به آرایه‌های دیودی با آشکارساز ایندیم-گالیم آرسناید (InGaAs) است.

۲. ۵. تغییرات ساختار ثانویه پروتئین‌ها

با استفاده از طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه[۳] (Shimadzu-8400s) در محدوده طیفی cm^{-1} ۴۰۰۰-۴۰۰ و با تفکیک‌پذیری cm^{-1} ۴، تغییر در ساختار ثانویه پروتئین‌ها قبل و پس از تیمار با پلاسما، آنالیز شد.

۳. نتایج و بحث

۳. ۱. pH

اسیدیته یک محلول معمولاً به‌صورت pH آن بیان می‌شود. درواقع، pH و اسیدیته مفاهیم مرتبط با اسیدیته شیر هستند که عمدتاً به علت حضور اسیدلاکتیک موجود در شیر است [۹]. pH شیر قبل از تیمار و تیمار شده با پلاسمای سرد در جدول ۱ ارائه شده است. تیمار پلاسمایی،سبب تغییر pH به مقدار بسیار جزئی شده است، این در حالی است که زمان تیمار نیز در این مورد اثر قابل‌توجهی نشان نداده است. این یافته‌ها با روندهای گزارش شده توسط Ponraj, Sharp [10] و Coutinho, Silveira [11] که به ترتیب افت pH شیر و نوشیدنی‌های شیر شکلاتی را مشاهده کردند، مطابقت دارد. همچنین Kim, Yong [12] کاهش جزئی در pH شیر را با افزایش زمان تیمار گزارش کردند. کاهش pH شیر ناشی از پلاسمای سرد می‌تواند به دلیل اکسیداسیون پلی پپتیدهای تشکیل شده در اثر تجزیه پیوندهای پپتیدی توسط ازن و تشکیل مولکول‌های اسیدوژنیک توسط RNS[۴] باشد [۱۳].

جدول ۱. تغییر در مقادیر pH، اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، و چربی تام برای نمونه‌های تیمار با پلاسما در زمان‌های مختلف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ثانیه

تیمار	چربی (g/l)	pH	Palmitic acid %	Stearic acid %	Oleic acid %	Mono unsaturated FA %	Poly unsaturated FA %	Saturated FA %	Total unsaturated FA %
شیر خام	۷۱/۲۱	۶/۵۹	۳/۰۳	۰/۴۸	۰/۸۸	۰/۵۱	۰/۱۹	۵/۸۳	۰/۹۶
۱۰۰s	۴۴/۶۲	۶/۵۸	۲/۲۶	۰/۵۱	۱/۷۲	۱/۳۵	۰/۲۳	۳/۰۷	۱/۷۶
۲۰۰s	۴۸/۸۲	۶/۵۷	۲/۱۹	۰/۴۴	۱/۶۱	۱/۰۶	۰/۲۸	۴/۱۴	۱/۳۱
۳۰۰s	۸۴/۸	۶/۵۹	۳/۲۸	۰/۹۳	۲/۸۵	۲/۷	۰/۴۴	۴/۴۵	۳/۶

[2] Near Infrared
[3] Fourier Trans Form Infra-Red spectroscopy, FTIR
[4] Reactive Nitrogen Species

۲.۲. اندازه‌گیری اسیدهای چرب

مطابق با جدول ۱، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با افزایش مدت‌زمان تیمار پلاسما غلظت اسیدهای غیراشباع (PUFA و MUFA) افزایش یافته است که مقدار آن برای PUFA از ۰/۱۹ ٪ به ۰/۴۴٪ و برای MUFA از ۰/۵۱ ٪ به ۲/۷ ٪ پس از ۳۰۰ ثانیه تیمار رسیده است. همچنین مقدار اسید اولئیک به ترتیب از ۰/۸۸٪ به ۱/۷۲٪ و سپس ۲۷/۸۵٪ پس از ۱۰۰ و ۳۰۰ ثانیه تیمار با پلاسما افزایش یافت. برای اسیدهای چرب اشباع تا زمان ۱۰۰ ثانیه مقدار کل اسیدهای چرب اشباع به شدت کاهش اما بعدازاین زمان، افزایش یافته است که با مطالعه Korachi, Ozen [14] مطابقت دارد. آن‌ها گزارش کردند که غلظت اسیدهای چرب اشباع از ۶۴/۴ ٪ به ۶۳/۶ ٪ در ۳ دقیقه اول و از ۶۴/۴٪ به ۶۳/۶ ٪ پس از ۵ دقیقه کاهش یافته است. بااین‌حال، پس از ۲۰ دقیقه تیمار با پلاسمای سرد، مقدار کل اسیدهای چرب اشباع به‌تدریج به ۶۵/۸ ٪ افزایش‌یافته است. این نتایج با گزارش‌ها[15] Wu, Luo مطابقت دارد که بیان کردند ولتاژ بالاتر منجر به پراکسیداسیون لیپیدی بالاتر در شیر می‌شود.

تغییرات در اسیدهای چرب ممکن است ناشی از دهیدروژناسیون[5] اسیدهای چرب اشباع ناشی از تولید رادیکال‌های اکسیژن در طی تیمار با پلاسما باشد که منجر به افزایش اسید اولئیک و اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود. کاهش در اسیدهای چرب غیراشباع PUFA و MUFA پس از ۲۰۰ ثانیه تیمار می‌تواند نشان‌دهنده یک واکنش مخالف یا برگشت‌پذیر باشد که توسط گونه‌های پلاسما H و OH ایجاد می‌شود.

در این مطالعه، مقدار چربی شیر در زمان‌های ۱۰۰ و ۲۰۰ ثانیه کاهش یافته است که با مطالعات دیگر مطابقت دارد. این نویسندگان بیان کردند که چربی شیر تیمار شده با سیستم پلاسمایی کم‌فشار (۱۶Pa)، پس از فرآوری کاهش یافته است [۱۶]. این نویسندگان دلیل آن را استفاده از شیر تازه گاو بدون هموژنیزاسیون، توصیف کردند. چسبندگی چربی به لوله‌ها زمانی که تحت تیمار قرار گرفته بودند، نیز مشاهده شده بود. بدون هموژنیزاسیون، مولکول‌های چربی شیر به هم می‌چسبند، درحالی‌که همگن کردن شیر با شکستن مولکول‌ها به‌اندازه کوچکی که به‌طور یکنواخت در سراسر شیر معلق می‌مانند، از این جدایی جلوگیری می‌کند.

ازآنجایی‌که ROS بالاتر شامل رادیکال OH و اکسیژن اتمی، منجر به سطح بالاتر اکسیداسیون چربی می شود و به حداقل رساندن غلظت ROS از طریق ولتاژ پایین‌تر، و یا زمان تیمار کوتاه‌تر (زیر ۱۰ دقیقه) منجر به اکسیداسیون چربی کمتر می‌شود.

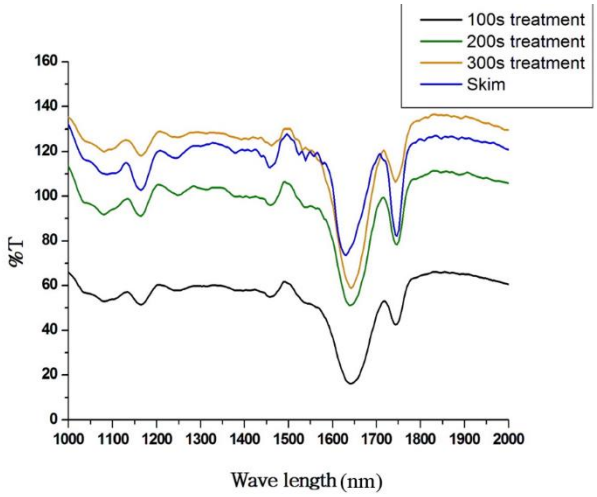
۳.۳. تغییرات در ساختار ثانویه پروتئین‌ها

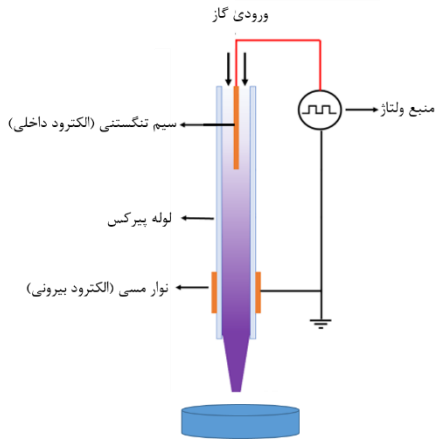
در این مطالعه ساختار نمونه‌ها با FTIR موردبررسی قرار گرفت تا تأثیر تیمارهای پلاسما در زمان‌های ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ ثانیه بر ساختار ثانویه پروتئین‌های شیر خام گاو نشان داده شود. محدوده طیفی بین ۱۶۰۰ cm^{-1} و ۱۷۰۰ cm^{-1} به‌عنوان منطقه آمید I تعیین شده است که شامل ترکیبات ساختارهای ثانویه متفاوت شامل پروتئین‌های β sheets، random coils، α helices، β turns است [۱۷].

فرکانس‌های مشاهده‌شده در طیف‌های FTIR به‌عنوان پایه‌ای برای بررسی تغییرات در ساختار ثانویه نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد است. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، شدت پیک باند آمید I در طیف مادون‌قرمز نمونه‌ها به‌طور قابل‌توجهی توسط پلاسمای سرد تغییر کرده است. بدین معنی که جابجایی قابل‌توجهی در باند جذبی آمید I در نمونه‌های شیر تیمار شده با پلاسمای سرد رخ داده است. این تغییرات، پایداری پروتئین‌های شیر تیمار نشده را مشخص می‌کند که ممکن است به دلیل کاهش چگالی ابر الکترونی C=O و درنتیجه نیروی محرکه ساختاری پلاسمای سرد

[5] dehydrogenation

باشد. در تیمارهای ۱۰۰ و ۲۰۰ ثانیه به دلیل تشکیل پیوندهای هیدروژنی بین‌مولکولی، پیک جذب به سمت طول‌موج کمتر حرکت کرده است که توسط Deshwal, Singh [18] نیز گزارش شده است. همچنین، یک پدیده طیف جذب FTIR مشابه در نمونه‌های شیر تیمار شده توسط پلاسمای سرد یافت شده است [15].





شکل ۱. شماتیک چیدمان جت پلاسمایی

شکل ۲. طیف FTIR نمونه‌ها برای زمان‌های مختلف تیمار با پلاسما

به گفته Liu, Wang [19]، پایداری حرارتی پروتئین ارتباط نزدیکی با ساختار ثانویه پروتئین‌ها دارد. بنابراین، تشخیص تغییرات در ساختار ثانویه پروتئین‌های شیر برای پایداری در طی فرآوری ضروری است.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، ساختار ثانویه نمونه‌های تیمار شده با پلاسما در مقایسه با نمونه‌های شیر خام تغییر کرده است. جذب در نمونه‌های با تیمار ۱۰۰ ثانیه به‌شدت کاهش یافته است اما تیمارهای ۲۰۰ و ۳۰۰ نسبت به گروه شاهد این کاهش کمتر بوده است که نشان‌دهنده تغییرات در سطح پروتئین‌ها است. در مقایسه با ساختار پروتئین، نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد با زمان تیمار ۳۰۰ ثانیه تغییرات ملایم‌تری داشتند، تغییر قابل‌توجه در محتویات نسبی ساختار ثانویه در نمونه‌های با زمان تیمار ۱۰۰ ثانیه ممکن است به دلیل باز شدن پروتئین‌ها، دناتوره شدن و سایر تغییرات در طول فرآیند باشد که منجر به تغییر ساختار طبیعی در پروتئین می‌شود. بر اساس پیشنهاد Yazdanpanah and Langrish [20]، از دست دادن عنصر α-helix می‌تواند به ارزیابی تغییرات در ساختار ثانویه پروتئین‌ها کمک کند، که ممکن است توسط ROS و RNS، مانند تولید H_2O_2، O_3، NO و NO_2 جایگزین شوند [۱۳]. آن‌ها متوجه شدند که از دست دادن باندهای پروتئینی را می‌توان به تولید گونه‌های فعال در پلاسمای سرد نسبت داد [۲۱].

۴. نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار با پلاسمای سرد تحت مدت‌زمان‌های مختلف تأثیر بسیار جزئی بر pH در مقایسه با نمونه شاهد داشت. به‌طورکلی، فرآوری با پلاسما موجب کاهش در کیفیت شیر نشد اما استفاده از شیر غیرهموژن منجر به رسوب چربی در لوله فرآوری شد که باعث کاهش محتوای چربی در محصول نهایی شده است. در مورد ترکیبات شیر، تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد، اگرچه تغییرات در مقدار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع دیده شد. تیمارهای پلاسمای سرد منجر به تغییر در ساختارهای ثانویه پروتئین‌های شیر شد. طیف‌سنجی FTIR نشان داده است که نمونه‌های تیمار شده با پلاسمای سرد به مدت ۳۰۰ ثانیه ساختار ثانویه باثبات‌تری را داشتند. مطالعات بیشتری موردنیاز است تا پلاسمای سرد را به‌عنوان یک روش جایگزین در استریلیزاسیون شیر تائید کند.

۵. مراجع

۱. Forum, E.M., Milk facts nutritional info, in Nutrient richness. 2017.

۲. Misra, N.N., Schlüter, O. K, Cullen, P. J. , Cold plasma in food and agriculture. Fundamentals and application. . London: Elsevier.

۳. Barba, F.J., et al., Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. Trends in Food Science & Technology, 2017. **66**: p. 20-35.

۴. Gurol, C., et al., Low-Temperature Plasma for decontamination of E. coli in milk. International Journal of Food Microbiology, 2012. **157**: p. 1–5.

۵. Priyadarshini, A. and e. al, Emerging food processing technologies and factors impacting their industrial adoption. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2018.

۶. Gavahian, M. and P.J. Cullen, Cold plasma as an emerging technique for mycotoxin-free food: efficacy, mechanisms, and trends. Food Reviews International, 2019: p. 1-22.

۷. Pankaj, S.K., Z. Wan, and K.M. Keener, Effects of cold plasma on food quality: A review. Foods, 2018. **7(1)**: p. 4.

۸. Ucar, Y., et al., Application of cold plasma technology in the food industry and its combination with other emerging technologies Trends in Food Science & Technology, 2021. **114**: p. 355–371.

۹. Tyl, C. and G.D. Sadler, pH and Titratable Acidity. In S. S. Nielsen (Ed.), Food analysis (pp. 389–406). Cham: Springer International Publishing. . . 2017.

۱۰. Ponraj, S.B., et al., Argon gas plasma to decontaminate and extend shelf life of milk. Plasma Processes and Polymers, 2017. **14**: p. Article 1600242.

۱۱. Coutinho, N.M., et al., Chocolate milk drink processed by cold plasma technology: Physical characteristics, thermal behavior and microstructure. LWT Food Science & Technology, 2019. **102**: p. 324–329.

۱۲. Kim, H.J., et al., Microbial safety and quality attributes of milk following treatment with atmospheric pressure encapsulated dielectric barrier discharge plasma. Food Control, 2015. **47**: p. 451–456.

۱۳. Jahromi, M., et al., Effect of dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma treatment on structural, thermal and techno-functional characteristics of sodium caseinate. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2020.

۱۴. Korachi, M., et al., Biochemical changes to milk following treatment by a novel, cold atmospheric plasma system. International Dairy Journal, 2015. **42** :p. 64–69.

۱۵. Wu, X., et al., Influence of dielectric barrier discharge cold plasma on physicochemical property of milk for sterilization. . Plasma Processes and Polymers, 2021. **18(1)**.

۱۶. Manoharan, D., J. Stephen, and M. Radhakrishnan, Study on low-pressure plasma system for continuous decontamination of milk and its quality evaluation. Journal of Food Processing and Preservation, 2020. **45(2)**.

۱۷. Alvarez-Ordo´nez, A. and M. Prieto, Technical and methodological aspects of fourier transform infrared spectroscopy in food microbiology research. In Fourier Transform infrared spectroscopy in food Microbiology (pp. 1–18). Springer. . 2012.

۱۸. Deshwal, G.K., et al., Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie Food Science and Technology, 2020. **134**: p. Article 110117.

۱۹. Liu, H., et al., Effect of protein thermal stability and protein secondary structure on the roasted mutton texture and colour from different cuts. Meat Science, 2019. **156**: p. 52–58.

۲۰. Yazdanpanah, N. and T.A.G. Langrish, Comparative study of deteriorative changes in the ageing of milk powder. Journal of Food Engineering, 2013. **114(1)**: p. 14–21.

۲۱. Dong, S., et al., Inactivation of polyphenol oxidase by dielectric barrier discharge (DBD) plasma: Kinetics and mechanisms. Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie- Food Science and Technology, 2021. **145**: p. Article 1.