Archive of SID

تاثیر تیمار ترانس‌گلوتامیناز بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی پنیر فراپالوده کم‌چرب تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر طی دوره انبارمانی

عرفان دانش[a*]، حسین جوینده[b]، مصطفی گودرزی[c]

[a] *دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دام و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، اهواز، ایران*

[b] *دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دام و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، اهواز، ایران*

[c] *دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده بیوسیستم، دانشگاه تهران، کرج، ایران*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۳/۱۰

چکیده

مقدمه: پنیر سفید ایرانی فراپالوده دارای بیشترین سرانه مصرف در ایران می‌باشد. می‌توان با بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر کم‌چرب فراپالوده تیمارشده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، به محصولی با ویژگی‌های خوشایند بافتی و ارگانولپتیکی دست یافت. با این حال، فعالیت احتمالی آنزیم ترانس‌گلوتامیناز طی دوره انبارمانی، ممکن است کیفیت محصول را پیش از رسیدن به دست مصرف‌کننده، به گونه‌ای منفی تحت تاثیر قرار دهد. از این رو، پژوهش پیش‌رو بر آن است تا تغییرات ویژگی‌های رئولوژیکی و ارگانولپتیکی پنیر فراپالوده کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز را طی دوره انبارمانی مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها: سه نمونه آزمایشی پنیر شاهد پرچرب (۱۶٪ چربی)، شاهد کم‌چرب (۵/۹۵٪ چربی) و پنیر کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز (۵/۹۵٪ چربی، ۰/۵۶ واحد ترانس‌گلوتامیناز به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه، ۸/۷۹٪ جایگزینی رتنتیت با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر) تولید و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی آنها در ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از تولید مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: در تمامی مقاطع زمانی دوره نگهداری، نمونه شاهد پرچرب، از نقطه‌نظر پارامترهای سفتیِ تنش در نقطه گسیختگی، مدول یانگ، مدول ذخیره و مدول افت، نرم‌ترین نمونه بود و پس از آن به ترتیب نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز و نمونه شاهد کم‌چرب قرار داشتند. در ابتدای دوره نگهداری، بین پارامترهای سفتی نمونه شاهد پرچرب و نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ($p \geq 0.05$) ولی نرخ افزایش این پارامترها برای نمونه تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز به گونه‌ای بود که از روز چهلم دوره نگهداری به بعد، بافت آن به مراتب سفت‌تر از نمونه شاهد پرچرب بود ($p < 0.05$). افزایش سفتی پنیر تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز باعث کاهش چشمگیر مقبولیت حسی آن شد ولی با این‌حال، حتی در پایان دوره نگهداری نیز، ویژگی‌های حسی این نمونه به گونه چشمگیری بیشتر از نمونه شاهد کم‌چرب مورد پسند مصرف‌کنندگان واقع شد ($p < 0.05$).

نتیجه‌گیری: تیمار ترانس‌گلوتامیناز پنیر فراپالوده کم‌چرب، موجب افزایش سفتی و کاهش مطلوبیت بافت محصول طی دوره انبارمانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، انبارمانی، پنیر فراپالوده کم‌چرب، پروتئین آب‌پنیر، رئولوژی*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: danesherfan70@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

طی سال‌های اخیر، به دلیل گرایش مردم به سمت مصرف محصولات با کالری پایین، تولید محصولات کم‌چرب از جمله پنیر به موضوع مورد علاقه‌ای در صنعت غذا تبدیل شده است (Michaelidou *et al*., 2003). با این وجود، مصرف‌کنندگان، اغلب پنیر با محتوای چربی کاهش یافته را به عنوان پنیری فاقد کیفیت رضایت بخش تلقی می‌کنند چرا که کاهش چربی باعث سفت و الاستیک شدن بافت پنیر و عطر و طعم ضعیف‌تر آن می‌شود (Skeie *et al*., 2013). چالش اصلی در تولید پنیرهای کم‌چرب، محتوای پروتئینی بالاتر این محصولات است که در غیاب چربی –روان‌ساز اصلی بافت پنیر– یک ماتریس فشرده را به وجود می‌آورند و به گونه‌ای منفی ویژگی‌های بافتی و ارگانولپتیک پنیر را تحت تاثیر قرار می‌دهد. یکی از مهم‌ترین رهیافت‌ها برای چیرگی بر این چالش، افزایش میزان رطوبت تا حدی است که نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر کم‌چرب، برابر یا بیشتر از نوع پرچرب آن شود (Broadbent *et al*., 2001). پژوهش‌ها نشان می‌دهند که با تلفیق اجزای آب‌دوستی مانند پروتئین‌های آب‌پنیر به فرمولاسیون پنیرهای کم‌چرب و یا اصلاح آنزیمی ماتریس پروتئینی آنها، می‌توان به این مهم دست یافت (Sayadi *et al*., 2013). تحقیقاتی که در زمینه استفاده از پروتئین‌های آب‌پنیر به عنوان جایگزین چربی در پنیرهایی نظیر موزارلا (Rudan *et al*., 1998)، دمیاتی (El-Sheikh *et al*., 2001)، هاوارتی (Lo & Bastion, 1998) و مانچگو (Lobato-Calleros *et al*., 2001) صورت پذیرفته است حاکی از افزایش راندمان تولید و بهبود طعم و بافت این محصولات بوده است. همچنین، گزارش‌هایی وجود دارند که نشان می‌دهند تیمار آنزیمی شیر پنیرسازی با ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، می‌تواند در بهبود ویژگی‌های بافتی پنیرهای کم‌چرب، راه‌گشا باشد. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی (MTGase[1], EC 2.3.2.13) یک آسیل ترانسفراز است که با تسهیل انتقال آسیل بین اسیدآمینه‌های لیزین و گلوتامین پروتئین‌های شیر، زمینه برقراری پیوندهای کوالان بین پروتئین‌های شیر را فراهم می‌کند (Gaspar *et al*., 2015)، که در نتیجه آن یک ژل مقاوم به حرارت و پایدار تشکیل خواهد شد که با به‌دام انداختن آب بیشتر در ماتریس پنیر و درپی آن، ارتقای نسبت رطوبت به پروتئین، علاوه بر بهبود ویژگی‌های پنیر کم‌چرب، راندمان تولید را نیز بیشتر خواهد کرد (Sayadi *et al*., 2013). افزایش نسبت رطوبت به پروتئین و در پی آن، بهبود ویژگی‌های بافتی و رئولوژیک در نتیجه تیمار آنزیمی با ترانس گلوتامیناز میکروبی، در ارتباط با پنیرهای کم‌چرب سفید ایرانی (Sayadi *et al*., 2013) و پنیر دانبو (Mleko *et al*., 2004) گزارش شده است. Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که تیمار ترانس‌گلوتامیناز شیر پنیرسازی همگام با تلفیق پروتئین‌های آب‌پنیر به فرمولاسیون آن، پارامترهای سفتی پنیر کم‌چرب سفید ایرانی را به گونه چشمگیری کاهش می‌دهد و در عین حال، راندمان تولید را نسبت به حالتی که تنها از تیمار ترانس‌گلوتامیناز بهره جسته شده بود، بیشتر افزایش می‌دهد.

پنیر سفید ایرانی تولیدی به شیوه فراپالایش دارای بیشترین سرانه مصرف در ایران می‌باشد. این پنیر، دارای بافتی نرم و مالش‌پذیر است که در نتیجه فراپالایش شیر تا ماده خشک حدود ۳۵٪ و سپس انعقاد آنزیمی ناتراوه حاصل به دست می‌آید (Karami *et al*., 2009). پنیر سفید ایرانی فراپالوده در دسته پنیرهای تازه جای می‌گیرد و معمولا بدون طی دوره رسیدن و بلافاصله پس از تولید، وارد بازار می‌شود. با این حال، واکنش‌های بیوشیمیایی مختلفی که طی دوره انبارمانی پنیر اتفاق می‌افتد ممکن است کیفیت محصول را پیش از رسیدن به دست مصرف‌کننده، تحت تاثیر قرار دهد. Karami و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی ویژگی‌های رئولوژیکی و ریزساختار پنیر فتای ایرانی فراپالوده طی یک دوره ۶۰ روزه پس از تولید، عنوان داشتند که در اثر کاهش چربی پنیر در نتیجه واکنش‌های لیپولیتیک، پیوندهای عرضی جدیدی بین پروتئین‌های ماتریس پنیر ایجاد می‌شود که در نهایت منجر به فشردگی ریزساختار پنیر و افزایش چشمگیر شاخص‌های سفتی آن می‌شود. لزوم بررسی تغییرات ویژگی‌های مختلف پنیرهای تازه طی دوره انبارمانی، در مورد انواع تیمارشده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از اهمیت بالاتری برخوردار است چرا

[1] Microbial Transglutaminase

www.SID.ir

Archive of SID

که، غیرفعال‌سازی حرارتی ترانس‌گلوتامیناز در پنیرهای تیمارشده با آن، امکان‌پذیر نمی‌باشد و فعالیت این آنزیم در ایجاد اتصلات عرضی بین پروتئین‌های پنیر، ممکن است در دوره انبارمانی نیز ادامه داشته باشد و در نتیجه آن، ماتریس پنیر فشرده‌تر و بافت محصول سفت و جویدنی‌تر شود. Özer و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزایش سفتی پنیرهای سفید آب‌نمکی تیمارشده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی طی دوره رسیدن، نسبت به نمونه شاهد، به مراتب چشمگیرتر است. دانش و همکاران (۲۰۱۵) دریافتند که با بهینه‌سازی تیمار ترانس‌گلوتامیناز پنیر کم‌چرب فراپالوده تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر، می‌توان به محصولی با ویژگی‌های بافتی و ارگانولپتیکی مطلوب دست یافت. پژوهش پیش‌رو، کوششی است در جهت پاسخ به این پرسش که آیا پنیر یادشده مطلوبیت خود را تا رسیدن به دست مصرف کننده نیز حفظ خواهد کرد یا خیر. بدین منظور، تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی پنیر موردنظر، طی بازهای مختلف یک دوره انبارمانی ۶۰ روزه (روز ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰) و در نگاهی مقایسه‌ای با نمونه شاهد پرچرب و کم‌چرب مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

- مواد

ناتراوه پرچرب در کارخانه پگاه خوزستان (۱۲/۳٪ پروتئین، ۲/۵٪ لاکتوز، ۱/۲٪ خاکستر و ۱۶٪ چربی) تولید شد. پودر ناتراوه بدون چرب یا همان کنسانتره پروتئین شیر (MPC[1]) (دارای ۷۰٪ پروتئین، ۱۶/۵٪ لاکتوز، ۸ ٪ خاکستر و ۰/۵٪ چربی) از شرکت پگاه خراسان، پودر کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر یا WPC[2] (دارای ۸۰ ٪ پروتئین، ۹٪ لاکتوز، ۵/۵٪ خاکستر و ۱٪ چربی) از شرکت NZMP نیوزلند و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (EC ۱۳،۲،۳،۲) از شرکت BDF Natural Ingredients اسپانیا خریداری شدند. از رنت استاندارد Chy-Max شرکت لبنی هانسن دانمارک و آغازگر مزوفیل CHOOZIT 230 (محتوی سویه‌های *لاکتوکوکوس‌لاکتیس* زیرگونه *کرموریس* و *لاکتیس*) و ترموفیل YO-MIX 532 (محتوی سویه‌های *استرپتوکوکوس‌ترموفیلوس* و *لاکتوباسیلوس‌دلبروکی* زیرگونه *بولگارکوس*) شرکت لبنی دانیسکوی آلمان استفاده شد.

- تولید پنیر

سه نمونه آزمایشی پنیر فراپالوده سفید ایرانی شامل نمونه شاهد پرچرب (FF) (۱۶٪ چربی)، نمونه شاهد کم چرب (LF) (۵/۹۵٪ چربی) و نمونه بهینه کم‌چرب تیمار شده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر (W+TG) (۵/۹۵٪ چربی، ۰/۵۶ واحد ترانس‌گلوتامیناز به ازای هر گرم پروتئین ناتراوه، ۸/۷۹٪ جایگزینی رتنتیت با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر) تولید شدند. فرمولاسیون نمونه بهینه با بررسی تاثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (۰-۲ واحد به ازای گرم پروتئین ناتراوه) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و ارگانولپتیکی پنیر کم‌چرب فراپالایش (۰-۱۰ درصد چربی ناتراوه) تلفیق‌شده با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (۰-۱۶ درصد جایگزینی با ناتراوه) بوسیله روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی (CCD) ۵ سطحه ($\alpha = 1.68$)، انتخاب شد (دانش و همکاران، ۲۰۱۵). تمامی نمونه‌های پنیر با سطوح مختلف چربی با ماده خشک کل ۳۲٪ تولید شدند. برای تنظیم چربی پنیر فراپالوده کم‌چرب شاهد و بهینه، از اختلاط ناتراوه پرچرب (حاوی ۱۶٪ چربی و ۳۲ ٪ ماده خشک) و محلول کنسانتره پروتئینی شیر یا همان ناتراوه بدون چربی (با ماده خشک برابر ۳۲٪) و برای تولید پنیر پرچرب نیز از ناتراوه پرچرب استفاده شد. به منظور تولید نمونه بهینه کم‌چرب، نخست، محلول پروتئین آب‌پنیر تهیه شد. برای تهیه محلول کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، پودر WPC تا حصول ماده خشک ۳۲٪ با آب مقطر مخلوط و به مدت یک ساعت با همزن در دور پایین همگن شد. پس از اعمال فرآیند حرارتی (۸۵°C به مدت ۵ دقیقه)، جهت هیدراته شدن بهتر پروتئین، محلول آماده شده به مدت یک شب در دمای یخچال نگهداری شد (Sayadi *et al.*, 2013). در ادامه، محلول کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به مقدار ۸/۷۹٪ (حجمی/حجمی) جایگزین ناتراوه بدون چربی یا همان کنسانتره پروتئین شیر شد و برای رسیدن به درصد

[1] Milk Protein Concentrate

[2] Whey Protein Concentrate

www.SID.ir

Archive of SID

چربی پنیر فراپالایش کم‌چرب بهینه (۵/۷۹٪ وزنی/وزنی)، با میزان مناسبی از ناتراوه پرچرب مخلوط شد. میزان چربی محلول پروتئین آب‌پنیر نیز در محاسبات چربی نهایی ناترواه مورد استفاده برای تولید نمونه بهینه، لحاظ شد. سپس، مخلوط در فشار ۷۰ بار با استفاده از یک دستگاه هموژنایزر Ronghe machinary (مدل JHG-Q60-P60، ساخت چین)، هموژن و در دمای ۷۵°C به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه شد. در ادامه، استارتر (۰/۰۱ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) و رنت (۰/۰۳ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) در مقدار کمی آب استریل با دمای ۳۰°C حل شده و به ناتراوه اضافه شدند. تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (۰/۵۶ واحد به ازای گرم پروتئین ناتراوه) همزمان با افزودن رنین انجام گرفت. پس از قرار گرفتن ناتراوه در ظروف پنیر ۲۰۰^{CC}، ظروف به تونل انعقاد انتقال داده شد. بعد از سپری شدن مدت زمان لازم و تشکیل لخته، عمل نمک‌زنی (۲٪ وزنی/وزنی) و دربندی ظروف پنیر در دستگاه روتامین انجام گرفت. در پایان، ظروف کارتن گذاری شده و پس از گرمخانه‌گذاری (دمای ۳۷°C) و رسیدن به pH = ۴/۸، به سردخانه با دمای ۱°C ± ۹ منتقل شدند (Karami *et al*., 2009). تولید پنیرهای شاهد پرچرب و شاهد کم‌چرب نیز با پیروی از پروتکل عنوان شده برای تولید نمونه کم‌چرب بهینه و البته بدون افزودن محلول پروتئین آب‌پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، صورت پذیرفت. تمام نمونه‌های پنیر تولید شده در روزهای ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز پس از تولید، تحت آزمون‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژی و ارگانولپتیکی قرار گرفتند.

- آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از دستورالعمل‌های AOAC (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال (مدل827، متروم[1] ساخت سوئیس) انجام گرفت. درصد ماده جامد کل توسط خشک کردن به روش وزنی و توسط یک آون تحت خلاء اندازه‌گیری شد. چربی به روش ژربر تعیین شد و پروتئین از حاصلضرب مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده به روش کلدال در فاکتور ۶/۳۸ محاسبه شد (AOAC, 2000). همچنین نسبت نیتروژن محلول در آب به نیتروژن کل به عنوان شاخصی از پروتئولیز در نمونه‌های مختلف مطابق روش Kuchroo & Fox (۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد.

- آزمون‌های رئولوژیکی

- آزمون فشرش تک محوری

فشرش تک‌محوری با استفاده از دستگاه سنجش بافت (Stable Micro System[2]، مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) انجام گرفت. برای انجام آزمایش، قطعه‌های پنیر به مکعب‌هایی با اضلاع ۱۵ میلی‌متری در دمای ۶°C بریده شده و به منظور جلوگیری از دست دادن رطوبت، به سرعت در داخل ظرف پلی‌اتیلن غیر قابل نفوذ به هوا قرار داده شدند. نمونه‌های پنیر دست کم از عمق دو میلی‌متری قطعه‌های پنیر انتخاب شدند. برای هم‌دما شدن نمونه‌ها با محیط، نمونه‌های برش خورده به مدت دو ساعت پیش از آزمایش در دمای محیط (۲۵°C) نگهداری شدند. نمونه‌ها به صورت تک‌محوری به وسیله پیستونی با قطر ۳۶ میلی‌متر با پیشانی پیش‌رونده‌ای با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تا ۵۷٪ (۸/۵ میلی‌متری) از ارتفاع اولیه در یک گاز فشرده شدند. تنش‌گسیختگی از تقسیم کردن نیروی ثبت شده در نقطه گسیختگی منحنی- بدریختی بر روی سطح مقطع نمونه و مدول کشسانی یانگ به صورت مدول سکانت در نقطه گسیختگی به دست آمد (Sayadi *et al*., 2013).

- اندازه‌گیری نوسانی پویا

نمونه‌ها همانند روش آماده‌سازی نمونه برای آزمون فشرش تک‌محوری، آماده شدند. اندازه‌گیری های نوسانی پویا با استفاده از رئومتر یونیورسال داینامیک اسپکترومتر Paar Physica USD200 (Physica Messtechnik GmbH، اشتوتگارت، آلمان) انجام گرفت. شکل هندسی سامانه‌ی اندازه گیرنده، از دو صفحه‌ی موازی هم با قطر ۲۵ میلی‌متر و فاصله‌ی ۱ میلی‌متر (ضخامت نمونه) تشکیل شده است. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه روی رئومتر به حال خود رها شدند تا اثر تنش‌های وارد شده بر آنها از بین برود. گستره‌ی گرانوکشسانی خطی با انجام آزمایش تغییر روبشی کرنش تعیین شد. برای این منظور بسامد در ۰/۱ هرتز تنظیم شده و درصد کرنش از

[1] Metrohm [2] Texture Analyzer

www.SID.ir

Archive of SID

۰/۰۱ تا ۲ تغییر پیدا کرد. سپس کرنشی در گستره‌ی خطی (۰/۰۲) انتخاب شده و آزمایش تغییر روبشی بسامد انجام گرفت، به این ترتیب که کرنش در ۰/۰۲ تنظیم شده و بسامد از ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز تغییر یافت. سنجه واره‌های محاسبه شده عبارت بودند از'G و"G، که نشان دهنده ویژگی‌های کشسانی و گرانروی می‌باشند (Karami *et al.*, 2009).

- ارزیابی حسی

مهمترین خصوصیات حسی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی فراپالایش شامل رنگ و ظاهر، طعم و رایحه، و قوام و بافت توسط توسط ۱۰ نفر از دانشجویان صنایع غذایی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین (ملاثانی، خوزستان) ارزیابی گردید. نمونه‌ها از طریق یک آزمون ترجیحی ده نقطه‌ای با یکدیگر مقایسه شدند. بر اساس اهمیت هر یک از صفات کیفی مورد نظر، برای هر یک از صفات بنا بر پیشنهاد IDF (۱۹۸۷) ضریبی در نظر گرفته شد، بدین گونه که نتایج مربوط به طعم و رایحه که بیشترین اهمیت را دارد در ضریب ۵، بافت در ضریب ۴ و ظاهر و رنگ در ضریب ۱ ضرب شدند که در مجموع هر تیمار حداکثر ۱۰۰ امتیاز به عنوان پذیرش کلی می‌توانست به دست آورد (Katsiari *et al.*, 2002).

- تجزیه و تحلیل آماری

برای بررسی تغییرات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارگانولپتیکی تیمارهای مختلف پنیر (۳ تیمار) در طول زمان (۴ مقطع) از طرح کاملا تصادفی استفاده شد. نتایج با استفاده از برنامه GLM از نرم افزار SAS Version 9.3 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون دانکن و در سطح اطمینان ۹۵٪، برای مقایسه میانگین ویژگی‌های مختلف هر تیمار در مقاطع زمانی مختلف دوره انبارمانی و یا مقایسه ویژگی‌های تیمارهای مختلف در مقطع یکسانی از دوره انبارمانی استفاده شد. همه آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند.

یافته‌ها

- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

یافته‌های حاصل از بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی تیمارهای مختلف پنیر فراپالایش طی دوره انبارمانی، در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس این یافته‌ها، رطوبت هیچ‌کدام از نمونه‌ها متحمل تغییر معنی-داری طی دوره انبارمانی نشد ($p \geq 0.05$) با این حال، روند تغییرات آن برای همه نمونه‌ها، در سراسر دوره نگهداری، یک روند افزایشی بود. نتایج همچنین حکایت از آن داشتند که در تمامی مقاطع دوره نگهداری، رطوبت نمونه W+TG به گونه معنی‌داری از نمونه شاهد پرچرب و کم‌چرب بیشتر بود ($p < 0.05$) و در بین این دو نمونه نیز، برتری از آن نمونه کم‌چرب بود. به موازات افزایش زمان انبارمانی، میزان پروتئین نیز همچون رطوبت، دستخوش تغییر معنی‌داری نشد ($p < 0.05$). با این تفاوت که، روند تغییرات آن، برای همه نمونه‌ها یک روند کاهشی بود. به علاوه، در تمامی مقاطع زمانی دوره انبارمانی، نمونه کم-چرب شاهد دارای بیشترین و نمونه پرچرب شاهد دارای کمترین میزان پروتئین بودند. بر خلاف این دو پارامتر، تغییرات چربی نمونه‌های پنیر فراپالایش طی دوره نگهداری، نسبتا محسوس بود. همانگونه که در جدول ۱ می‌توان دید، نمونه پرچرب شاهد، در تمامی مقاطع دوره انبارمانی، کاهش معنی‌دار میزان چربی را تجربه کرده است ($p < 0.05$). تغییرات چربی نمونه W+TG نیز از همین روند پیروی کرد تنها با این تفاوت که، در فاصله روز ۴۰ تا ۶۰، کاهش مشاهده شده در میزان چربی آن، از لحاظ آماری فاقد اهمیت بود. در مورد نمونه کم‌چرب شاهد هم، اگرچه روند تغییرات چربی یک روند کاهشی بود ولی تنها در انتهای دور نگهداری، کاهش مشاهده شده یک کاهش معنی‌دار بود ($p < 0.05$). البته همانگونه که انتظار می-رفت، چربی نمونه شاهد پرچرب، در تمامی مقاطع دوره نگهداری، به گونه معنی‌داری از دو نمونه دیگر بیشتر بود ($p < 0.05$). تغییرات میزان پروتئین محلول به پروتئین کل (WSN/TN) نمونه‌های پنیر فراپالایش نیز تقریبا از الگویی مشابه با تغییرات میزان چربی آنها پیروی کرد (جدول ۱). بدین‌گونه که، تغییرات میزان این پارامتر برای نمونه پرچرب شاهد، در تمامی مقاطع زمانی دوره نگهداری، و برای نمونه W+TG تا روز ۴۰ام دوره نگهداری، معنی‌دار بود ($p < 0.05$). روند تغییرات پروتئین محلول به پروتئین کل نمونه کم‌چرب شاهد نیز مانند نمونه W+TG بود البته باید توجه داشت که روند تغییرات این پارامتر طی دوره

www.SID.ir

Archive of SID

نگهداری، بر خلاف چربی، یک روند افزایشی بود. اگرچه میزان WSN/TN نمونه کم‌چرب شاهد و نمونه W+TG، در ابتدای دوره نگهداری از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نداشت ($p \geq 0.05$). ولی نرخ افزایش این پارامتر برای نمونه W+TG کمتر از نمونه کم‌چرب شاهد بود به گونه‌ای در روز ۴۰ام دوره انبارمانی، اختلاف معنی‌داری بین آنها مشاهده شد ($p < 0.05$). در ارتباط با تغییرات pH نمونه-های مختلف پنیر فراپالوده، روند تغییرات برای هر سه نمونه یک روند کاهشی بود البته، pH نمونه پرچرب علی‌رغم پایین‌تر بودن نسبت به دیگر نمونه‌ها در ابتدای دوره نگهداری، به موازات افزایش زمان، با سرعت بیشتری کاهش یافت (جدول ۱).

- ویژگی‌های رئولوژیکی

نتایج حاصل از ارزیابی بافت تیمارهای مختلف پنیر فراپالوده طی دوره نگهداری، در جدول ۲ نشان داده شده است. روند تغییرات هر چهار پارامتر رئولوژیک مورد بررسی شامل تنش در نقطه گسیختگی، مدول الاستیک، مدول ذخیره و مدول افت، برای همه نمونه‌ها، یک روند افزایشی بود البته، از لحاظ آماری، این تغییرات تنها برای نمونه W+TG قابل اعتنا بود ($p \geq 0.05$). برای این نمونه، به استثنای پارامتر مدول افت ("G) – که تنها در انتهای دوره نگهداری افزایش معنی‌دار آن مشاهده شد– برای همه پارامترها، تا روز ۴۰ام دوره انبارمانی، یک اافزایش معنی‌دار دیده شد ($p < 0.05$) و تا پایان دوره، تغییر معنی‌داری در میزان آنها مشاهده نگردید ($p \geq 0.05$). بر اساس یافته‌های رئولوژیکی، در تمامی مقاطع زمانی مورد بررسی، مقادیر این پارامترهای بافتی برای نمونه کم‌چرب شاهد به گونه معنی‌داری بیشتر از دو نمونه دیگر بود ($p < 0.05$). دو نمونه دیگر نیز اگرچه در ابتدای دوره انبارمانی تفاوت معنی‌داری از این نظر با هم نداشتند ($p \geq 0.05$) ولی روند تغییرات بافتی آنها به گونه‌ای رقم خورد که پارامتر مدول افت ("G) در پایان دوره نگهداری و سه پارامتر دیگر تنها پس از گذشت ۲۰ روز از دوره نگهداری، برای نمونه W+TG به مراتب بالاتر از نمونه شاهد پرچرب بود (جدول ۲).

جدول ۱- تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های پنیر فراپالوده طی دوره انبارمانی

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی	نوع پنیر	زمان انبارمانی (روز)			
		۳	۲۰	٤٠	٦٠
pH	(W+TG)	۴/۷۷±۰/۰۱^{aA}	۴/۶۴^{bA}	۴/۵۷±۰/۰۱^{cA}	۴/۵۵±۰/۰۲^{cA}
	FF	۴/۷۱±۰/۰۱^{aB}	۴/۵۴±۰/۰۴^{bB}	۴/۴۵±۰/۰۱^{cB}	۴/۴۰±۰/۰۱^{cB}
	LF	۴/۸۰±۰/۰۳^{aA}	۴/۶۸±۰/۰۲^{bA}	۴/۶۱±۰/۰۱^{cA}	۴/۶۰±۰/۰۱^{cA}
رطوبت (٪)	(W+TG)	۶۶/۷۰±۰/۲۲^{aA}	۶۶/۸۶±۰/۱۷^{aA}	۶۶/۹۰±۰/۱۱^{aA}	۶۶/۹۸±۰/۲۳^{aA}
	FF	۶۳/۲۰±۰/۴۰^{aC}	۶۳/۳۰±۰/۳۳^{aC}	۶۳/۶۶±۰/۱۷^{aC}	۶۳/۷۶±۰/۱۷^{aC}
	LF	۶۵/۱۰±۰/۹۶^{aB}	۶۵/۴۳±۰/۳۶^{aB}	۶۵/۳۳±۰/۳۴^{aB}	۶۵/۵۳±۰/۲۸^{aB}
پروتئین (٪)	(W+TG)	۱۶/۳۶±۰/۱۷^{aB}	۱۶±۰/۲۹^{aB}	۱۶±۰/۳۴^{aB}	۱۵/۹۰±۰/۵۱^{aB}
	FF	۱۲/۳۰±۰/۲۲^{aC}	۱۱/۹۹±۰/۳۸^{aC}	۱۱/۹۶±۰/۳۵^{aC}	۱۱/۸۳±۰/۵۷^{aC}
	LF	۱۷/۰۰±۰/۲۲^{aA}	۱۶/۸۹±۰/۳۱^{aA}	۱۶/۷۳±۰/۴۷^{aA}	۱۶/۶۴±۰/۲۷^{aA}
نیتروژن محلول در آب/کل نیتروژن (٪)	(W+TG)	۵/۳۱±۰/۱۱^{aA}	۵/۸۱±۰/۱۲^{bB}	۶/۲۱±۰/۱۴^{cC}	۶/۳۱±۰/۱۱^{cC}
	FF	۵/۱۳±۰/۱۲^{aB}	۶/۳۲±۰/۱۳^{bA}	۷/۰۲±۰/۱۵^{cA}	۷/۷۴±۰/۱۷^{dA}
	LF	۵/۲۹±۰/۱۱^{aA}	۵/۹۹±۰/۱۴^{bB}	۶/۶۳±۰/۱۶^{cB}	۶/۹۲±۰/۱۵^{cB}
چربی (٪)	(W+TG)	۶/۴۳±۰/۲۴^{aB}	۶/۱۱±۰/۲۳^{bC}	۵/۶۹±۰/۲۰^{cC}	۵/۵۱±۰/۲۱^{cC}
	FF	۱۷/۰±۰/۲۶^{aA}	۱۶/۳۶±۰/۲۱^{bA}	۱۶/۰۱±۰/۱۹^{cA}	۱۵/۶۰±۰/۲۱^{dA}
	LF	۶/۶۳±۰/۲۲^{aB}	۶/۵۰±۰/۲۲^{abB}	۶/۲۹±۰/۲۳^{abB}	۶/۲۱±۰/۱۹^{bB}

W+TG نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز و تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر، FF نمونه شاهد پرچرب و LF نمونه شاهد کم‌چرب می‌باشند.

حروف کوچک متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد

حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- تغییرات پارامترهای رئولوژیکی نمونه‌های پنیر فراپالوده طی دوره انبارمانی

ویژگی‌های بافتی	نوع پنیر	زمان انبارمانی (روز) ۳	۲۰	۴۰	۶۰
تنش در نقطه گسیختگی (kPa)	(W+TG)	۴۴/۹۹± ۴^{aB}	۵۶/۱۳±۳/۱۳^{bB}	۶۵/۳۱±۴/۵۱^{cB}	۶۸/۷۳±۵/۴۴^{cB}
	FF	۴۰/۹۵±۳/۵۹^{aB}	۴۳/۲۴±۴/۴۱^{aC}	۴۵/۲۷±۳/ ۲۸^{aC}	۴۶/۰۵±۳/۱۸^{aC}
	LF	۶۹/۸۳±۳/۹۹^{aA}	۷۱/۹۹±۵/۱۷^{aA}	۷۳/۳۰±۴/۰۴^{aA}	۷۵/۲۹±۵/۲ ۸^{aA}
مدول یانگ (kPa)	(W+TG)	۱۵۳/۵۹±۷/ ۴۰^{aB}	۱۷۰/۰۱±۴/ ۴۳^{bB}	۱۸۱/۹۲±۵/ ۲۶^{cB}	۱۹۴/۳۴±۸/ ۶۷^{cB}
	FF	۱۴۶/۰۲ ±۵^{aB}	۱۴۸/۵۰±۶/۲۳^{aC}	۱۴۹/۷۷±۵/۹۵^{aC}	۱۵۰/۱۵±۵/۸۵^{aC}
	LF	۲۰۷/۶۷±۱۱/۰۳^{aA}	۲۱۲/۲۷±۱۱/۸۸^{aA}	۲۱۵/۶۶±۱۱/ ۷۹^{aA}	۲۱۹/۷۳±۱۲/ ۷۹^{aA}
مدول ذخیره (kPa)	(W+TG)	۴۲/۱۹±۳/ ۱۰^{aB}	۴۹/۳±۴/ ۲۳^{bB}	۵۶/۹۲±۴/ ۱۶^{cB}	۵۸/۳۴±۴/ ۹۷^{cB}
	FF	۳۹/۰۲ ±۴^{aB}	۴۰/۵۰±۴/۲۳^{aC}	۴۱/۷۷±۴/۰۵^{aC}	۴۲/۱۵±۵/۱۵^{aC}
	LF	۵۸/۶۷±۶/۱۳^{aA}	۶۱/۲۷±۵/۲۸^{aA}	۶۲/۶۶±۵/ ۱۹^{aA}	۶۳/۷۳±۴/۱۹^{aA}
مدول افت (kPa)	(W+TG)	۲۱/۸±۲/ ۹^{aB}	۲۳/۵±۳/ ۶۳^{abB}	۲۴/۳±۵/ ۲۶^{abB}	۲۷/۳±۳/ ۱۷^{bB}
	FF	۱۹/۰۲ ±۲/۲^{aB}	۲۰/۵۰±۲/۲۳^{aB}	۲۲/۰۱±۵/۹۵^{aB}	۲۲/۹±۵/۸۵^{aC}
	LF	۳۴/۶±۳/۰۳^{aA}	۳۶/۲±۳/۵۵^{aA}	۳۸/۶±۳/ ۶۶^{aA}	۳۸/۹±۴/۱۹^{aA}

W+TG نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز و تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر، FF نمونه شاهد پرچرب و LF نمونه شاهد کم‌چرب می‌باشند.
حروف کوچک متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.
حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.

- ویژگی‌های ارگانولپتیکی

بر اساس یافته‌های حاصل از ارزیابی حسی (جدول ۳) و آنگونه که انتظار می‌رفت، طعم نمونه شاهد پرچرب با استقبال به مراتب گرم‌تری نسبت به دو نمونه کم‌چرب شاهد و نمونه W+TG مواجه شد و از این نظر بین دو نمونه کم‌چرب، اختلاف معنی‌دار آماری مشاهده نشد ($p \geq 0.05$)؛ البته دوره نگهداری نیز منجر به تغییر معنی‌داری در مطلوبیت عطر و طعم این دو نمونه نشد ($p \geq 0.05$) این درحالیست که به عقیده پانل ارزیاب، عطر و طعم نمونه پرچرب، در روز چهلم دوره انبارمانی به گونه محسوسی بهبود یافته بود. اما در ارتباط با مطلوبیت رنگ و ظاهر پنیر فراپالوده، دوره نگهداری علی‌رغم یک تاثیر کاهشی، منجر به تغییر معنی‌داری در میزان مطلوبیت این پارامتر برای هیچ‌کدام از نمونه‌ها نشد ($p \geq 0.05$). لازم به ذکر است که در تمامی مقاطع دوره نگهداری، مطلوبیت رنگ و ظاهر نمونه پرچرب بر سایر نمونه‌ها چربش داشت و نمونه W+TG علی‌رغم ظاهر و رنگ بهتر نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب، در مقایسه با نمونه شاهد پرچرب با استقبال کمتری از سوی مصرف‌کنندگان مواجه شد. یافته‌ها حاکی از آن بودند که در روز سوم دوره انبارمانی، نظر مصرف‌کنندگان در ارتباط با مطلوبیت بافت نمونه شاهد پرچرب و نمونه W+TG تفاوت معنی‌داری نداشت ($p \geq 0.05$) و از این نظر، بر نمونه شاهد کم‌چرب، برتری قابل ملاحظه‌ای داشتند البته به موازات افزایش زمان انبارمانی، میزان رضایت مصرف‌کنندگان از مطلوبیت بافت نمونه‌های فراپالایش کاهش نشان داد و میزان این عدم رضایت برای نمونه W+TG بیش از دو نمونه دیگر بود به گونه‌ای که در روز چهلم دوره نگهداری، مصرف‌کنندگان بافت نمونه شاهد پرچرب را به مراتب بیشتر از نمونه W+TG پسندیدند. در ارتباط با امتیاز کلی که مصرف‌کنندگان به نمونه‌های مختلف دادند نشان داده شد که دوره انبارمانی، منجر به تغییر معنی‌داری در ماهیت ارگانولپتیکی تیمارهای مختلف پنیر فراپالوده نمی‌شود ($p \geq 0.05$) و در تمامی مقاطع دوره نگهداری، نمونه پرچرب شاهد از بالاترین مطلوبیت حسی برخوردار است و پس از به ترتیب، نمونه‌های W+TG و شاهد کم‌چرب قرار دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- تغییرات ویژگی‌های ارگانولپتیکی انواع نمونه‌های پنیر فراپالوده طی دوره انبارمانی

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی	نوع پنیر	زمان انبارمانی (روز)			
		۳	۲۰	٤٠	٦٠
رنگ و ظاهر (۱-۱۰)	(W+TG)	۵/۳±۰/۴^{aB}	۵/۲±۰/۵^{aB}	۵/۲±۰/۵^{aB}	۵/۰±۰/۶^{aB}
	FF	۶/۸±۰/۵^{aA}	۶/۸±۰/۴^{aA}	۶/۶±۰/۶^{aA}	۶/۵±۰/۳^{aA}
	LF	۴/۰±۰/۴^{aC}	۴/۰±۰/۳^{aC}	۳/۹±۰/۴^{aC}	۳/۸±۰/۳^{aC}
عطر و طعم (۱-۱۰)	(W+TG)	۴/۶±۰/۴^{aB}	۴/۸±۰/۵^{aB}	۴/۹±۰/۶^{aB}	۵/۰±۰/۵^{aB}
	FF	۷/۱±۰/۶^{aA}	۷/۷±۰/۶^{abA}	۸/۰±۰/۷^{bA}	۸/۲±۰/۶^{bA}
	LF	۴/۳±۰/۴^{aB}	۴/۶±۰/۵^{aB}	۴/۷±۰/۴^{aB}	۴/۷±۰/۴^{aB}
بافت و قوام (۱-۱۰)	(W+TG)	۶/۵±۰/۵^{aA}	۶/۰±۰/۵^{abA}	۵/۵±۰/۵^{bcB}	۵/۳±۰/۵^{cB}
	FF	۷/۰±۰/۵^{aA}	۶/۵±۰/۶^{abA}	۶/۵±۰/۵^{abA}	۶/۴±۰/۶^{bA}
	LF	۴/۱±۰/۳^{aB}	۴/۰±۰/۴^{abB}	۳/۸±۰/۳^{abC}	۳/۵±۰/۳^{bC}
امتیاز کلی (۱۰-۱۰۰)	(W+TG)	۵۴/۳±۵^{aB}	۵۳/۲±۴^{aB}	۵۱/۷±۴^{aB}	۵۱/۲±۳^{aB}
	FF	۷۰/۳±۴^{aA}	۷۱/۳±۵^{aA}	۷۲/۶±۶^{aA}	۷۳/۱±۷^{aA}
	LF	۴۱/۹±۳^{aC}	۴۳/۰±۳^{aC}	۴۲/۶±۴^{aC}	۴۱/۳۰±۳^{aC}

W+TG نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز و تلفیق‌شده با پروتئین‌های آب‌پنیر، FF نمونه شاهد پرچرب و LF نمونه شاهد کم‌چرب می‌باشند.
حروف کوچک متفاوت در هر سطر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.
حروف بزرگ متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری آماری در سطح اطمینان ۹۵٪ می‌باشد.

بحث

- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

آنچه که در نتایج این پژوهش مشاهده شد، عدم تغییر معنی‌دار رطوبت تیمارهای مختلف پنیر فراپالایش طی ۶۰ روز نگهداری بود. حال آنکه، در روز سوم پس از تولید، رطوبت نمونه W+TG از دو نمونه شاهد بیشتر و رطوبت نمونه کم‌چرب نیز از نمونه پرچرب بیشتر بود و این تفاوت‌ها، تا پایان دوره نگهداری نیز تقریبا پابرجا بود. عدم تغییر معنی‌دار رطوبت و در واقع افزایش جزئی آن طی دوره انبارمانی، -که در پژوهش پیش‌رو نیز مشاهده شد- پیشتر بوسیله Karami و همکاران (۲۰۰۹) برای پنیر فتای فراپالوده پرچرب گزارش شده بود. از آنجائیکه در فرآیند تولید پنیرهای فراپالوده، مرحله‌ای تحت عنوان وئینگ[1] یا برش‌زنی موجود نمی‌باشد، بر خلاف پنیرهای تولیدی به شیوه سنتی، انتظار بر آن است که بلافاصله پس از تولید، ماده خشک نمونه کم‌چرب و پرچرب یکسان باشد. از این رو، به نظر می‌رسد تفاوت مشاهده شده بین محتوای رطوبت نمونه‌های مختلف، به ویژه در روز سوم، ناشی از تفاوت میزان آب‌اندازی آنها طی دوره نگهداری باشد. در پنیرهای کم‌چرب، سهم پروتئین از ماده خشک پنیر افزایش می‌یابد و با توجه به ویژگی آب‌دوستی پروتئین‌های شیر، میزان کمتر آب‌اندازی نمونه‌های کم‌چرب و به دنبال آن، رطوبت بالاتر آنها در مقایسه با نمونه پرچرب، منطقی به نظر می‌رسد. Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) نیز رطوبت بالاتر پنیر کم‌چرب سفید ایرانی نسبت به همتای پرچرب خود را ناشی از همین پدیده دانستند. اما در ارتباط با رطوبت بالاتر نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز (W+TG) نسبت به شاهد کم‌چرب، گمان می‌رود که شبکه پروتئینی که در نتیجه اتصالات عرضی ایجاد شده بین پروتئین‌های شیر در اثر فعالیت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز ایجاد می‌شود می‌تواند در کاهش سینرزیس و نگهداری آب‌بیشتر در ماتریس پنیر، موثر واقع شود. پیشتر، Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) نیز به یافته‌های مشابهی در این زمینه، برای پنیر سفید ایرانی دست یافتند. در مورد عدم تغییر معنی‌دار رطوبت طی دوره نگهداری نیز باید عنوان داشت که نبود مرحله آب‌نمک‌گذاری در فرآیند تولید پنیرهای فراپالایش، احتمالا باعث کاهش تبادل اجزا بین ماتریس پنیر و محیط پیرامون می‌شود. افزایش جزئی رطوبت را نیز

[1] Wheying

www.SID.ir

Archive of SID

می‌توان اینگونه تفسیر کرد که تجزیه چربی و پروتئین پنیر در نتیجه فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک و لیپولیتیک و شرکت این اجزا در واکنش‌های تولید ترکیبات فرّار عامل عطر و طعم، می‌تواند باعث کاهش ماده خشک و به دنبال آن، افزایش رطوبت شود (Rahimi *et al*, 2007). نگاهی به تغییرات سایر پارامترهای فیزیکوشیمیایی، فرضیه‌های عنوان شده را کمابیش تائید می‌کند (جدول ۱). بر اساس این یافته‌ها، برای همه نمونه‌ها، میزان پروتئین یا به عبارت دیگر ازت کل، متحمل تغییر معنی‌داری طی دوره انبارمانی نمی‌شود و البته با یک شیب بسیار ملایم کاهش می‌یابد. این در حالیست که میزان نیتروژن محلول به نیتروژن کل به عنوان شاخص پروتئولیز، برای نمونه پرچرب در سراسر دوره نگهداری و برای دو نمونه کم‌چرب تا روز چهلم، به گونه معنی‌داری افزایش می‌یابد. این نتایج به گونه‌ای غیر مستقیم بیان کننده این امر هستند که پروتئین‌های شیر در اثر فعالیت آنزیم‌های پروتئولتیک مایه کشت و رنت، به ترکیبات نیتروژنی محلول تبدیل می‌شوند ولی از انجائیکه بخش عمده این ترکیبات در ماتریس پنیر باقی می‌مانند، تغییر معنی‌داری در میزان پروتئین دیده نمی‌شود و احتمالا بخش بسیار کوچکی از آنها که به ترکیبات فرّار عامل عطر و طعم تبدیل می‌شوند عامل کاهش جزئی ماده خشک و افزایش رطوبت هستند. Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) کاهش معنی‌دار پروتئین پنیر سفید آب‌نمکی طی دوره رسیدن را به ورود اجزای حاصل از پروتئولیز پروتئین‌ها به محلول آب‌نمک نسبت دادند. در ارتباط با تفاوت روند تغییرات میزان WSN/TN نمونه‌های مختلف، به نظر می‌رسد نسبت رطوبت به پروتئین بالاتر نمونه پرچرب، باعث دسترسی بیشتر آنزیم‌های پروتئولیتیک به سوبسترای پروتئینی و درپی آن، افزایش معنی‌دار شاخص پروتئولیز در سراسر دوره نگهداری بوده است. در مورد دو نمونه کم‌چرب (نمونه شاهد و نمونه W+TG) نیز، اگرچه تفاوت WSN/TN آنها در ابتدای دوره نگهداری معنی‌دار نبود و هر دو تا مقطع زمانی یکسانی، افزایش معنی‌دار میزان این پارامتر را تجربه کردند ولی در روز چهلم و شصتم، برتری به گونه معنی‌داری از آن نمونه کم‌چرب شاهد بود به نظر می‌رسد فعالیت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز طی دوره نگهداری، با ایجاد پیوندهای عرضی بین پروتئینی، باعث ایجاد شبکه‌های جدید یا تقویت شبکه‌های پروتئینی قبلی می‌شود که در نتیجه آن، توانایی آنزیم‌های پروتئولتیک در تجزیه پیوندهای پروتئینی کاهش می‌یابد. Özer و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که میزان پروتئولیز در پنیر سفید آب‌نمکی تیمارشده با ترانس‌گلوتامیناز به مراتب کمتر از نمونه شاهد می‌باشد. به علاوه باید توجه داشت که پروتئین‌های آب‌پنیر و به طور خاص بتالاکتوگلوبولین‌ها که یکی از عوامل ممانعت کننده از فعالیت پلاسمین در تجزیه کازئین‌ها می‌باشند (Karami *et al*., 2009)، در نمونه W+TG حضور پررنگ‌تری داشتند. روند تغییرات میزان چربی نمونه شاهد پرچرب و نمونه W+TG مشابه با روند تغییرات WSN/TN آن‌ها بود. در حالیکه برای نمونه شاهد کم‌چرب، تغییرات میزان چربی آن تا روز چهلم معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد نسبت رطوبت به پروتئین بالاتر نمونه پرچرب به عنوان یکی از عوامل کلیدی دسترسی آنزیم‌های لیپولیتیک به سوبسترای لیپیدی، عامل کاهش شدیدتر و پیوسته چربی این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها بوده است. بر این اساس، و با توجه به اینکه، میزان این نسبت در نمونه W+TG کمتر از نمونه پرچرب و بیشتر از شاهد کم‌چرب بوده است، تفاوت روند تغییرات چربی آنها نیز قابل توجیه خواهد بود. اما در ارتباط با روند کاهشی مشاهده شده برای pH هر سه نمونه طی دوره نگهداری، Kavas و همکاران (۲۰۰۴) نتایجی مشابهی را برای پنیر سفید آب‌نمکی پرچرب و کم‌چرب گزارش کردند. Cooke و همکاران (۲۰۱۳) نیز–در تطابق با بافته‌های پژوهش جاری– کاهش شدیدتر pH پنیر چدار پرچرب نسبت به نمونه کم‌چرب را طی دوره رسیدن گزارش کردند و در توجیه آن عنوان داشتند که در نمونه پرچرب و یا در نمونه‌های حاوی هیدروکلوئید که نسبت رطوبت به لاکتوز آنها بیشتر از سایر نمونه‌هاست، دسترسی باکتری‌های اسیدلاکتیک به لاکتوز آسان‌تر است و در نتیجه، میزان تولید اسیدلاکتیک و کاهش pH نیز بیشتر خواهد بود. البته نباید از نظر دور داشت که ترکیبات حاصل از پروتولیز و لیپولیز نیز می‌تواند در کاهش یا افزایش pH نقش‌آفرین باشند.

– ویژگی‌های رئولوژیکی

پارامترهای رئولوژیک تنش در نقطه گسیختگی، مدول الاستیک، مدول ذخیره و مدول افت، همگی به

www.SID.ir

Archive of SID

عنوان شاخصه‌های سفتی پنیر در نظر گرفته می‌شوند (Sayadi *et al*., 2013). به عبارت دیگر، هر چه میزان این پارامترها برای یک نمونه پنیر بیشتر باشد، بافت آن پنیر سفت‌تر خواهد بود (Kahyaoglu & Kaya., 2003). بر اساس یافته‌های این پژوهش، شاخص‌های سفتی نمونه کم‌چرب در تمامی مقاطع دوره نگهداری، بیشتر از دو نمونه دیگر بود. یکی از موانع اصلی در مسیر تولید پنیرهای کم‌چرب، بافت سفت و الاستیک آنها می‌باشد. در واقع، با کاهش چربی، پروتیئن‌های شیر به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند که در نتیجه آن، پیوندهای بیشتر یا مستحکم‌تری بین آنها تشکیل می‌شود که در نهایت، می‌تواند منجر به فشرده‌شدن ماتریس پنیر و سفتی بافت آن شود (Madadlou *et al*., 2005). اما نکته در خور توجه این پژوهش، عدم تفاوت معنی‌دار پارامترهای سفتی نمونه کم‌چرب W+TG و نمونه شاهد پرچرب در روز سوم دوره نگهداری بود. یکی از استراتژی‌هایی که کارامدی آن در بهبود بافت پنیرهای کم‌چرب به اثبات رسیده است، افزایش رطوبت پنیر کم‌چرب تا حدی است که نسبت رطوبت به پروتئین آن برابر یا بیشتر از همتای پرچرب آن شود (Broadbent *et al*., 2001). در واقع، در غیاب چربی، مولکول‌های آب با شبیه‌سازی نقش چربی در ماتریس پنیر، بین مولکول‌های پروتئینی قرار گرفته و بدین‌ترتیب، مانع نزدیک‌شدن بیشتر آنها با یکدیگر و ایجاد پیوندهای عرضی گسترده آنها –که نتیجه آن افزایش سفتی پنیر خواهد بود– می‌شوند (Romeih *et al*., 2002). از این رو، می‌توان پارامترهای سفتی به مراتب کمتر نمونه W+TG نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب را به میزان بالاتر نسبت رطوبت به پروتئین آن نسبت داد. Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) عنوان داشتند که تیمار شیر کم‌چرب با ترانس‌گلوتامیناز، باعث افزایش معنی‌دار نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر حاصله و به دنبال آن کاهش چشمگیر پارامترهای سفتی آن نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب می‌شود. در پژوهش جاری، طی دوره نگهداری، تمامی پارامترهای رئولوژیک مورد بررسی، افزایش نشان دادند که این افزایش برای نمونه شاهد کم‌چرب و پرچرب با آهنگی بسیار آهسته و برای نمونه W+TG با شیبی به مراتب تندتر صورت پذیرفت. Karami و همکاران (۲۰۰۹) با تصویربرداری از ریزساختار پنیر فتای فراپالوده طی مقاطع مختلف پس از تولید، نشان دادند که با گذشت زمان و در نتیجه فرآیند لیپولیز، میزان چربی ماتریس پنیر کاهش یافته و در نتیجه آن پروتئین‌ها به یکدیگر نزدیکتر شده و با ایجاد پیوندهای بین مولکولی بیشتر و مستحکم‌تر، بافت سفت و فشرده‌ای را برای پنیر رقم می‌زنند. در سوی دیگر، بسیاری پژوهشگران بر این باورند که پروتئولیز پروتئین‌های پنیر طی فرآیند رسیدن و نگهداری، منجر به سست‌شدن شبکه پروتئینی پنیر و درپی آن، نرم‌شدن بافت محصول نهایی می‌شوند (Rahimi *et al*., 2007). بر این اساس، اینگونه می‌توان انگاشت که برآیند فرآیندهای پروتئولیز به عنوان کاهندهٔ سفتی و لیپولیز به عنوان افزایندهٔ سفتی، تعیین‌کننده روند تغییرات پارامترهای سفتی و مطلوبیت بافت نمونه‌های مختلف پنیر طی دوره رسیدن یا نگهداری آنها می‌باشد. در نمونه شاهد پرچرب، میزان لیپولیز و پروتئولیز از دیگر نمونه‌ها بالاتر بود این در حالیست که در نمونه شاهد کم‌چرب، پروتئولیز به دلیل ساختار فشرده‌تر این نمونه و لیپولیز به دلیل نسبت رطوبت به پروتئین پایین‌تر آن، با نرخ کمتری نسبت به نمونه پرچرب کسترش یافتند. ولی در نهایت برآیند این دو فرآیند در هر دو نمونه، باعث افزایش جزئی پارامترهای سفتی طی دوره نگهداری شد. در نمونه W+TG، از یک سو، لیپولیز به دلیل نسبت رطوبت به پروتئین بالاتر این نمونه نسبت به شاهد کم‌چرب بیشتر بود و از سوی دیگر، پروتئولیز آن به دلایلی که پیشتر عنوان شد، از شاهد کم‌چرب کندتر بود. بر این اساس، سفتی این نمونه با نرخ بیشتری افزایش پیدا کرد به گونه‌ای که در از روز بیستم به بعد، پارامترهای سفتی آن به گونه معنی‌داری بیشتر از شاهد پرچرب بود. Özer و همکاران (۲۰۱۳) نشان دادند که افزایش سفتی پنیرهای سفید آب‌نمکی تیمارشده با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی طی دوره رسیدن، نسبت به نمونه شاهد، به مراتب چشمگیرتر است. دیگر نکتهٔ مورد توجه در این پژوهش، نرخ پایین‌تر افزایش مدول افت نمونه W+TG نسبت به مدول ذخیره آن بود که به معنی کاهش "نسبت مدول افت به مدول ذخیره" یا همان تانژانت افت[1]، طی دوره نگهداری می‌باشد. کاهش تانژانت افت نشان‌دهنده الاستیک‌تر شدن ساختار پنیر می‌باشد (Karami *et al*., 2009).

[1] Loss Tangent

www.SID.ir

Archive of SID

- ویژگی‌های ارگانولپتیک

به مانند سایر پژوهش‌های مشابه (Romeih *et al*., 2002; Zalazar *et al*., 2002; Kavas *et al*., 2004)، در این پژوهش نیز، ویژگی‌های ارگانولپتیک نمونه پرچرب به مراتب بیشتر از نمونه کم‌چرب مورد پسند مصرف‌کنندگان واقع گردید. تیمار ترانس‌گلوتامیناز پنیر کم‌چرب تلفیق‌شده با پروتئین آب‌پنیر (W+TG) اگرچه باعث بهبود رنگ و ظاهر و بافت پنیر کم‌چرب شد ولی تاثیری بر مطلوبیت طعم آنها نداشت. دوره نگهداری تاثیری بر مطلوبیت ظاهر نداشت ولی در برخی از مقاطع و به‌ویژه در مورد نمونه پرچرب، بهبود پذیرش طعم مشاهده شد که احتمالا به دلیل تولید ترکیبات عامل عطر و طعم در نتیجه فرآیند لیپولیز می‌باشد (Romeih *et al*., 2002). نتایج ارزیابی بافت نمونه‌های پنیر فراپالوده نیز با نتایج رئولوژی آنها همخوانی داشت به این معنی که، نمونه‌های سفت‌تر کمتر مورد پسند مصرف‌کنندگان واقع شدند. به علاوه، افزایش جزئی مشاهده شده در میزان پارامترهای رئولوژیک نمونه‌های مختلف، در برخی موارد باعث کاهش معنی‌دار مقبولیت حسی محصول شد. در مورد امتیاز کلی ارزیابی حسی نمونه‌ها، دوره نگهداری منجر به کاهش معنی‌داری در آن نشد ولی در تمامی مقاطع، نمونه پرچرب دارای بالاترین امتیاز حسی بود و پس از آن به ترتیب، نمونه W+TG و شاهد کم‌چرب قرار داشتند. به نظر می‌رسد تاثیر قابل ملاحظه عطر و طعم در امتیاز کلی از یک سو و عدم تاثیر بهبود دهندگی تیمار ترانس‌گلوتامیناز بر بهبود عطر و طعم نمونه کم‌چرب از سوی دیگر، باعث تفاوت چشمگیر مقبولیت نمونه پرچرب و نمونه W+TG نزد مصرف-کنندگان شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که شدت پروتئولیز و لیپولیز می‌تواند چگونگی تغییر بافت پنیر فراپالایش را طی دوره نگهداری تحت تاثیر قرار دهد. تیمار ترانس‌گلوتامیناز پنیر فراپالوده کم‌چرب، اگرچه باعث بهبود چشمگیر مطلوبیت بافت پنیر کم‌چرب می‌شود ولی از طرف دیگر، با ادامه فعالیت ترانس‌گلوتامنیاز طی دوره نگهداری، ماتریس پنیر فشرده‌تر شده و کارآمدی آنزیم‌های پروتئولیتیک رنت و کشت آغازگر در هیدرولیز پروتئین‌های پنیر و سست‌کردن ماتریس پنیر کاهش می‌یابد که در نتیجه آن سفتی پنیر افزایش یافته و بافت آن نامطلوب می‌شود. نمونه کم‌چرب تیمارشده با ترانس‌گلوتامنیاز، با وجود کاهش شدید مطلوبیت بافت، همچنان به گونه قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نمونه شاهد کم‌چرب مورد استقبال پانل ارزیاب قرار گرفت.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله برخود لازم می‌دانند از شرکت شیر پاستوریزه پگاه خوزستان به‌ویژه جناب آقای دکتر منصور شاکریان و جناب آقای پیمان فرهنگ به دلیل حمایت‌های بی‌دریغ و انجام هماهنگی‌های لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

دانش، ع.، جوینده، ح.، سمواتی، و. و گودرزی، م. (۱۳۹۶). بهینه سازی تولید پنیر فراپالایش کم چرب با استفاده از تلفیق پروتئین‌های آب پنیر و تیمار آنزیمی ترانس گلوتامیناز به روش سطح پاسخ. پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، [در دست چاپ].

AOAC. (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.

Broadbent, J. R., McMahon, D. J., Oberg, C. J. & Welker, D. L. (2001). Use of exopolysaccharide-producing cultures to improve the functionality of low fat cheese. International Dairy Journal, 11 (4), 433-439.

Cooke, D. R., Khosrowshahi, A. & McSweeney, P. L. (2013). Effect of gum tragacanth on the rheological and functional properties of full-fat and half-fat Cheddar cheese. Dairy Science & Technology, 93 (1), 45-62.

El-Sheikh, M. M., Farrag, A. F., Shahein, N. M. & El-Shibiny, S. (2001). Low fat Domiati cheese with particulated whey protein concentrate (PWPC). Egyptian Journal of Dairy Science, 29 (2), 331-342.

Gaspar, A. L. C. & de Góes-Favoni, S. P. (2015). Action of microbial transglutaminase (MTGase) in the modification of food proteins: A review. Food chemistry, 171, 315-322.

Kahyaoglu, T. & Kaya, S. (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the

www.SID.ir

Archive of SID

rheological and functional properties of Gaziantep cheese. International Dairy Journal, 13, 867-875.

Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K. & Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. Food chemistry, 112 (3), 539-544.

Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Kondyli, E. & Alichanidis, E. (2002). Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. Food chemistry, 79 (2), 193-198.

Kavas, G., Oysun, G., Kinik, O. & Uysal, H. (2004). Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. Food chemistry, 88 (3), 381-388.

Kuchroo, C. N. & Fox, P. F. (1982). Soluble nitrogen in cheddar cheese: comparison of extraction procedures. Milchwissenschaft, 37, 331-335.

Lo, C. G. & Bastian, E. D. (1998). Incorporation of native and denatured whey proteins into cheese curd for manufacture of reduced fat, Havarti-type cheese. Journal of dairy science, 81 (1), 16-24.

Lobato-Calleros, C., Robles-Martinez, J. C., Caballeor-Perez, J. F., Vernon-Carter, E. J. & Aguirre-Mandujano, E. (2001). Fat Replacers in Low-Fat Mexican Manchego Cheese. Journal of Texture Studies, 32 (1), 1-14.

Madadlou, A., Khosroshahi, A. & Mousavi, M. E. (2005). Rheology, microstructure and functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet. Journal of Dairy Science, 88, 3052–3062.

Michaelidou, A., Katsiari, M. C., Kondyli, E., Voutsinas, L. P. & Alichanidis, E. (2003). Effect of a commercial adjunct culture on proteolysis in low-fat Feta-type cheese. International dairy journal, 13 (2), 179-189.

Mleko, S., Gustaw, W., Glibowski, P. & Pielecki, J. (2004). Stress relaxation study of UF-milk cheese with transglutaminase. Egyptian Journal of Dairy Science, 32, 237-244.

Özer, B., Adnan Hayaloglu, A., Yaman, H., Gürsoy, A. & Sener, L. (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. International Dairy Journal, 33, 129-134.

Rahimi, J., Khosrowshahi, A., Madadlou, A. & Aziznia, S. (2007). Texture of Low-Fat Iranian White Cheese as Influenced by Gum Tragacanth as a Fat Replacer. Journal of Dairy Science, 90, 4058–4070.

Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G. & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. International Dairy Journal, 12 (6), 525-540.

Rudan, M. A., Barbano, D. M., Yun, J. J. & Kindstedt, P. S. (1999). Effect of fat reduction on chemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 82 (4), 661-672.

Sayadi, A., Madadlou, A. & Khosrowshahi, A. (2013). Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese. International Dairy Journal. 29, 88-92.

Skeie, S., Alseth, G. M., Østlie, H., Abrahamsen, R. K., Johansen, A. G. & Øyaas, J. (2013). Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy. International Dairy Journal, 33 (2), 153-162.

Zalazar, C. A., Zalazar, C. S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A. & Zaritzky, N. (2002). Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. International Dairy Journal, 12 (1), 45-50.

www.SID.ir