Archive of SID

تأثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز و ایزوله پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و ارگانولپتیکی پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب

عرفان دانش[1]، حسین جوینده[2*]، مصطفی گودرزی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹٤/۸/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۱/۲۳)

چکیده

در این پژوهش تأثیر تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (۲-۰ واحد به ازای هر گرم پروتئین شیر) و ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر (٦-۰ گرم در هر لیتر شیر) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و ارگانولپتیکی پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب (٤/٤-۰/۱ درصد چربی شیر) مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌های آماری نشان دادند که کاهش چربی باعث کاهش معنی‌دار نسبت رطوبت به پروتئین و به دنبال آن، افزایش سفتی، پیوستگی و ارتجاع‌پذیری و کاهش بازده، چسبندگی و پذیرش حسی پنیر سفید آب‌نمکی می‌شود. پروتئین‌های آب‌پنیر علی‌رغم بهبود چشمگیر ویژگی‌های بافتی، از تأثیر معنی‌داری بر امتیاز کلی ارزیابی حسی پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب برخوردار نبودند که علت آن را می‌توان به اثر منفی قابل ملاحظه آنها بر مقبولیت طعم این نمونه‌ها نسبت داد. بسته به غلظت پروتئین‌های آب‌پنیر، افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا یک سطح بحرانی، سبب افزایش نسبت رطوبت به پروتئین و در نتیجه افزایش بازده و کاهش سفتی، پیوستگی و ارتجاع‌پذیری پنیر کم‌چرب گردید ولی در مقادیر بالاتر آنزیم، کاهش مطلوبیت پارامترهای بافت مشاهده شد. نتایج بهینه-سازی نشان داد که بهترین نمونه با خواص حسی و بافتی مطلوب زمانی حاصل می‌شود که فرمولاسیون پنیر شامل ۰/۹۹٪ چربی شیر، ۰/۹۱ واحد آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ۵/۰۵ گرم WPI به ازای هر لیتر شیر باشد.

کلید واژگان: پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب، ایزوله پروتئین آب‌پنیر، ترانس‌گلوتامیناز، بافت، ویژگی‌های حسی

*مسئول مکاتبات: hosjooy@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

با وجود بازار بالقوه عظیم برای محصولات کم‌چرب، تولید و عرضه پنیرهای کم‌چرب در چند دهه گذشته کمتر از حد انتظار بوده است که احتمالا دلیل این عدم پذیرش، بافت و ویژگی‌های ارگانولپتیکی نامطلوب پنیرهای کم‌چرب می‌باشد. بیشتر پنیرهای کم‌چرب به عنوان فرآورده‌ای خشک، بیش از حد سفت، لاستیکی و با عطر و طعم ضعیف تلقی می‌شوند [۱]. حذف چربی از ماتریس کازئینی پنیر، منجر به شکل‌گیری یک شبکه پارا-کازئینی مستحکم و به دنبال آن، سفت شدن بافت پنیر می‌گردد. افزایش نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر، یکی از راهبردهای کاربردی برای بهبود خواص کیفی و ارگانولپتیکی پنیرهای کم‌چرب می‌باشد [۲]. پروتئین‌های آب‌پنیر دناتوره شده به واسطه توانایی بالای جذب آب، از پتانسیل بالایی جهت استفاده در فرمولاسیون پنیرهای کم‌چرب و به دنبال آن، بهبود ویژگی‌های نامطلوب این محصولات برخوردار می‌باشند. پروتئین‌های آب‌پنیر چیزی حدود ۲۰ درصد از کل پروتئین‌های طبیعی شیر را به خود اختصاص می‌دهند؛ با این حال، بخش عمده‌ای از آنها طی مرحله برش‌زدن در پروسه تولید پنیر، از ماتریس پروتئینی پنیر خارج شده و به آب‌پنیر راه می‌یابند [۳]. بر این اساس، پژوهشگران بسیاری تلاش نموده‌اند تا با تلفیق پروتئین‌های دناتوره‌شده آب‌پنیر به ماتریس پروتئینی پنیرهای کم‌چرب و به دنبال آن، با کاهش میزان خروج رطوبت طی فرآیند برش‌زنی، علاوه بر بهبود بازده پنیرسازی، از نقش آب در شبیه‌سازی ویژگی‌های چربی بهره جسته و بدین‌ترتیب، بافت و ویژگی‌های ارگانولپتیک ناخوشایند پنیرهای کم‌چرب را بهبود دهند [٤]. لوسی و گوری[1] (۱۹۹٤)، سانتورو و فاسیا[2] (۱۹۹٦) و زون و هولس[3] (۱۹۹٤) از جمله پژوهشگرانی هستند که به نتایج امیدوارکننده‌ای در این زمینه، به ترتیب در ارتباط با پنیر چدار، نوعی پنیر نیمه سخت[4] و پنیر گودا دست یافته‌اند [٤، ٥ ، ٦].

از سوی دیگر طی سال‌های اخیر برنامه‌های کاربردی جدیدی نظیر اصلاح آنزیمی پنیر به منظور افزایش عملکرد و بافت پنیر کم‌چرب مطرح شده است. پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه نشان می‌دهند که تیمار آنزیمی شیر پنیرسازی با ترانس‌گلوتامیناز میکروبی(TG، ترانسفراز EC 2.3.2.13)، منجر به حفظ درصد بیشتری از پروتئین‌های آب‌پنیر در لخته پنیر و به دنبال آن ارتقای ارزش تغذیه‌ای پنیر، افزایش رطوبت و نرم‌تر شدن بافت و بهبود بازده پنیرسازی می‌شود [۷]. آنزیم ترانس گلوتامیناز میکروبی با کاتالیز انتقال آسیل بین گروه‌های Y-کربوکسی آمید اسیدآمینه گلوتامین (دهنده آسیل) و آمین‌های نوع اول (پذیرنده آسیل) اسیدآمینه لیزین، شرایط تشکیل پیوند عرضی گلوتامین- لیزین و ایجاد شبکه بین پروتئین‌های حاوی این اسیدآمینه‌ها را فراهم می‌کند که پروتئین‌های شیر (کازئین‌ها و پروتئین‌های آب‌پنیر) نیز از آن جمله می‌باشند [۸]. بر این اساس، اینگونه می‌توان تصور کرد که تلفیق پروتئین‌های دناتوره شده آب‌پنیر -که گروه‌های واکنش‌دهنده آنها در سطح قرار دارند- به شیر، همراه با تیمار آنزیمی آن با ترانس‌گلوتامیناز، شکل‌گیری شبکه‌های پروتئینی بین کازئین و پروتئین‌های آب‌پنیر را تسهیل و تقویت کرده و به دنبال آن، احتمالاً آب بیشتری در ماتریس پنیر به دام افتاده و بهبود ویژگی‌های ناخوشایند پنیرهای کم‌چرب چشمگیرتر خواهد شد [۷]. البته بیم آن نیز می‌رود که شبکه پروتئینی تشکیل شده به قدری مستحکم شود که حتی منجر به سفت‌تر شدن بافت پنیر شود. در تنها پژوهشی که تاکنون در این زمینه در مورد پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب انجام شده است، صیادی و همکاران (۲۰۱۳) عنوان داشتند که اگرچه رطوبت و بازده نمونه پنیر تلفیق‌شده با پروتئین آب‌پنیر و تیمار شده با ترانس گلوتامیناز نسبت به نمونه‌ای که تنها با ترانس‌گلوتامیناز تیمار شده بود بیشتر بود ولی در عین حال، نسبت رطوبت به پروتئین آن پایین‌تر و در پی آن، شاخص‌های سفتی آن بالاتر بود البته سفتی آن، به گونه معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد کم‌چرب بود [۷]. لازم به ذکر است که یافته‌های این پژوهشگران تنها بر اساس بررسی یک غلظت از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و پروتئین‌های آب‌پنیر ارائه شده بود. از این رو، پژوهش پیش رو بر آن است تا با استفاده از روش بهینه‌سازی سطح پاسخ (RSM[5])، تاثیر غلظت‌های مختلف ترانس‌گلوتامیناز و پروتئین‌های آب‌پنیر بر پنیر آب‌نمکی حاوی درصد-

1. Lucey & Gorry
2. Santoro and Faccia
3. Zoon and Hols
4. Semi-hard

5. Response surface methodology

www.SID.ir

Archive of SID

های گوناگون چربی را مورد بررسی قرار داده و غلظت بهینه متغیرهای یاد شده در جهت دستیابی به محصولی کم‌چرب با حداکثر بازده تولید و در عین‌حال با ویژگی‌های بافتی و ارگانولپتیکی مشابه با نمونه پرچرب را ارائه نماید.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

برای تهیه نمونه‌های پنیر، از شیر با کیفیت بالا (۳/۳٪ پروتئین، ۰/٤٪ چربی) و خامه (۳۰٪ چربی، ۳۵٪ ماده خشک) موجود در کارخانه پگاه خوزستان استفاده گردید. ایزوله پروتئین‌های آب-پنیر[1] (WPI) (۸۸٪ پروتئین، ۱/۳٪ لاکتوز، ٤/۵٪ خاکستر، ۰/۲٪ چربی) از شرکت Arla Food Ingredient دانمارک و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (EC ۱۳،۲،۳،۲) از شرکت BDF Natural Ingredients اسپانیا خریداری شد. 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 *لاکتوباسیلوس-دلبروکی* زیرگونه *بولگارکوس*) شرکت لبنی دانیسکوی آلمان استفاده شد. کلرید کلسیم از شرکت کمیرا سوئد تهیه شد.

۲-۲ روش‌ها

۲-۲-۱- تولید پنیر

پس از تعیین میزان چربی خامه، شیر پس چرخ خام با مقادیر مناسبی از خامه مخلوط شد به گونه‌ای که پس از افزودن محلول ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر به آن، درصدهای مورد نظر چربی (۰/٤، ۰/٦۵، ۰/۹، ۱/۱۵، ۱/٤) به دست آید. یک محلول ۲۰٪ (وزنی-وزنی) پروتئین‌های آب‌پنیر، با حل کردن پودر WPI در آب مقطر و هم‌زدن با یک همزن مغناطیسی با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه تهیه شد و به منظور هیدراته شدن، در دمای ٤°C به مدت یک شب نگه‌داری شد [۷]. طبق فرمولاسیون هر نمونه، مقدار مشخصی از محلول ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر (۰، ۱/۵، ۳، ٤/۵، ٦ گرم پروتئین به ازای هر لیتر شیر) به شیر پنیرسازی اضافه شد. شیر استاندارد شده، به شیوه غیر مداوم در دمای ٦٤°C به مدت ۳۰ دقیقه در داخل وتی از جنس فولاد زنگ نزن که درون حمام آبی قرار گرفته بود پاستوریزه گردید. در این مرحله، کلرید کلسیم به میزان ۰/۱ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر به آن افزوده و سپس پودر مایه کشت آغازگر به غلظت ۰/۰٤ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر تلقیح شد و به مدت ۵۵ دقیقه در دمای ۳۵°C نگهداری شد تا آغازگرها فرصت کافی برای فعالیت و کاهش pH قبل از افزودن رنت را داشته باشند. بعد از گذشت این مدت زمان، رنت به میزان ۰/۲۵ گرم به ازای هر کیلوگرم شیر به وت افزوده و۵۰ دقیقه برای تشکیل لخته به آن فرصت داده شد. همزمان با رنت، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز در مقادیر (۰، ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ واحد به ازای گرم پروتئین) تعیین شده در طرح آزمایش به شیر اضافه شد. لخته ایجاد شده به مکعب‌های ۱ cm^3 بریده شد و به مدت ۱۰ دقیقه به حال خود رها شد و سپس با آهنگی افزایشی، مکعب‌ها به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شدند تا خروج آب‌پنیر از آن‌ها تسریع شود. پس از تخلیه آب‌پنیر، لخته در قالب‌های مخصوص پرس به مدت ۲/۵ ساعت قرار داده شد. فشار به صورت تدریجی از ۰/۳ کیلوپاسکال تا تقریبا ۲/۹ کیلوپاسکال در یک ساعت اول افزایش یافت و تا پایان فرآیند پرس‌کردن، تحت همین فشار باقی ماند. بعد از فرایند پرس کردن، لخته‌ها به ابعادی به اندازه ٤×٤×۸ سانتی‌متر بریده شدند. سپس لخته‌ها در ظروف پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا قرار داده شده و سطح آنها با آب‌نمک ۱۳٪ پوشانده شد لازم به ذکر است که پیشتر آب نمک مصرفی در دمای ۸۰°C به مدت زمان ۱۰ دقیقه پاستوریزه و خنک شده بود. بعد از عمل درب‌بندی، ظروف در دمای ۲۵-۲۳ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۹ ساعت گرم‌خانه‌گذاری شدند. سپس تمام نمونه‌های پنیر تولید شده تا زمان انجام آزمون‌های شیمیایی، بافتی و ارزیابی حسی در دمای ٦-۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. شایان ذکر است که جهت تعیین حدود مطلوب پاسخ‌های مورد بررسی در بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید آب‌نمکی، نمونه شاهد پرچرب با میزان ۳٪ چربی شیر در شرایط یکسان همانند سایر تیمارها تولید و ویژگی‌های آن مورد بررسی قرار گرفت. تمامی آزمون‌ها در پایان یک دوره رسیدن ٦۰ روزه انجام شدند.

1. Whey protein isolate

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۲-۲- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از دستورالعمل‌های AOAC (۲۰۰۰) اندازه گیری شدند. اندازه‌گیری pH با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتال (مدل827، متراهم[1] ساخت سوئیس) انجام گرفت. درصد ماده جامد کل توسط خشک کردن به روش آون تحت خلاء و تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد. چربی به روش ژربر و پروتئین توسط روش کلدال (حاصلضرب مقدار نیتروژن اندازه گیری شده در فاکتور ٦/٣٨) تعیین شد [۹]. بازده پنیرسازی از تقسیم کردن وزن پنیر پیش از آب نمک‌گذاری به وزن شیر مصرف شده محاسبه گردید [۱۰].

۳-۲-۲ آزمون بافت

آزمون پروفیل بافت (TPA[2]) غالب‌ترین آزمون تقلیدی مورد استفاده برای بررسی بافت مواد غذایی و به‌ویژه پنیر می‌باشد که نمونه به تقلید از اقدامات انسان در طی عمل جویدن دو بار فشرده می‌شود. آزمون بافت توسط دستگاه سنجش بافت[3] (Stable Micro System، مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) و با استفاده از پروپ شماره P/5S ، مطابق روش Jooyandeh (۲۰۰۹) انجام گرفت. سرعت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد و پروب تا ۵۰٪ ارتفاع اولیه نمونه‌های پنیر (عمق ۱۰ میلی متر) به داخل نمونه نفوذ کرد. در این آزمون ویژگی‌هایی همانند سختی[4]، چسبندگی[5]، پیوستگی[6] و ارتجاع‌پذیری[7] بررسی شد. نمونه‌های پنیر قبل از آزمایش از یخچال خارج و پس از برش به ابعاد ۵×۵×۳/۵ سانتی‌متر، به مدت نیم‌ساعت در دمای محیط برای رسیدن به دمایی ثابت نگهداری شدند. آزمون بافت در سه تکرار انجام پذیرفت و میانگین نتایج گزارش شد [۱۱].

٤-۲-۲- ارزیابی حسی

مهمترین خصوصیات حسی نمونه‌های پنیر سفید ایرانی شامل رنگ و ظاهر، طعم و رایحه، و بافت و قوام توسط توسط ۱۰ نفر از دانشجویان صنایع غذایی دانشگاه رامین 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 ٤ 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 [۱۲].

۵-۲-۲- تجزیه و تحلیل آماری

بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر سفید آب‌نمکی، با استفاده از روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی[8] صورت پذیرفت. طرح مورد نظر با استفاده از سه فاکتور و هر فاکتور دارای پنج سطح راه‌اندازی شد. فاکتورها شامل غلظت چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر بودند که سطوح هر کدام از آنها در جدول ۱ بصورت کددار و غیرکددار مشخص شده است. طرح مختلط مرکزی با استفاده از ۳ فاکتور ۵ سطحه، ۲۰ تیمار پنیر کم‌چرب با فرمول‌بندی‌های مختلف ارائه کرد (جدول ۱)، که شامل سه گروه مجزا می باشند. گروه تیمارهای مرکزی شامل ٦ نمونه بوده که همگی متغیرها در سطح صفر تعریف شده‌اند. گروه تیمارهای های محوری شامل ٦ نمونه بوده که هر کدام از آنها شامل دو سطح صفر و یک سطح ۰/۵- یا ۰/۵+ می باشند و گروه تیمارهای مکعبی شامل ۸ نمونه است که ترکیبی از سطوح ۱- و ۱+ می باشند. نمونه‌های مرکزی امکان بررسی خمش در پاسخ، نمونه‌های محوری امکان برآورد جملات درجه دوم و نقاط مکعبی امکان بررسی برهمکنش‌ها و تاثیرات خطی را فراهم می‌کنند [۱۳]. نمونه‌های پنیر کم‌چرب بر اساس فرمولاسیون‌های مشخص‌شده در طرح آزمون تولید شدند و از نقطه‌نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند یک مدل چند جمله ای درجه دوم (رابطه ی شماره ۱) به داده های تجربی برازیده شد:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{3} \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{2} \sum_{j=i+1}^{3} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon_{ij}$$

1. Metrohm
2. Texture Profile Analysis
3. Texture Analyzer
4. Hardness
5. Adhessiveness
6. Cohesiveness
7. Springness
8. Central composite

www.SID.ir

Archive of SID

که Y پاسخ (میانگین خطای مطلق) و $\beta 0$، βi، βii و βij ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبداء، خطی، درجه دوم و برهم‌کنش‌ها بوده و Xi و Xj متغیرهای مستقل می‌باشند. تحلیل سطح‌پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Desigen Expert نسخه ۹ (شرکت Desigen Expert، ایالات متحده آمریکا) انجام شد. همچنین در مرحله بعد برای مقایسه نتایج پیش‌بینی با نتایج آزمایشی و تأیید آماری مدل‌های رگرسیونی، 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 برای مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مختلف استفاده شد و مقادیر در سطح معنی‌داری $p<۰/۰۵$ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

Table 1 The RSM experimental design for development of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

Standard order	Independent variables					
	Coded levels			Uncoded levels		
	X1	X2	X3	TG (u/g protein)	FAT (% w/w)	WPI (g/l milk)
1	-1	-1	+1	0.0	0.4	6.0
2	0	0	0	1.0	0.9	3.0
3	-1	-1	-1	0.0	0.4	0.0
4	0	+0.5	0	1.0	1.15	3.0
5	0	0	0	1.0	0.9	3.0
6	0	0	0	1.0	0.9	3.0
7	-1	+1	-1	0.0	1.4	0.0
8	0	0	0	1.0	0.9	3.0
9	0	0	0	1.0	0.9	3.0
10	+1	-1	-1	2.0	0.4	0.0
11	+1	+1	-1	2.0	1.4	0.0
12	0	-0.5	0	1.0	0.65	3.0
13	+0.5	0	0	1.5	0.9	3.0
14	-1	+1	+1	0.0	1.4	6.0
15	0	0	+0.5	1.0	0.9	4.5
16	+1	-1	+1	2.0	0.4	6.0
17	+1	+1	+1	2.0	1.4	6.0
18	-0.5	0	0	0.5	0.9	3.0
19	0	0	0	1.0	0.9	3.0
20	0	0	+0.5	1.0	0.9	1.5

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی

نتایج تحلیل آماری اثر سه متغیر چربی، مقادیر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر بر محتوای رطوبت نمونه‌های پنیر سفید آب‌نمکی در پایان یک دوره رسیدن ٦٠ روزه در جدول ۲ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که کاهش چربی منجر به کاهش مقدار رطوبت در مواد غیرچرب و به عبارت دیگر، کاهش نسبت رطوبت به پروتئین شده است (شکل ۱). در ماتریس کازئینی بافت پنیر، چربی و رطوبت بعنوان پرکننده عمل می‌کنند و هنگامی که میزان چربی کاهش پیدا میکند، رطوبت در همان مقداری که چربی کاهش پیدا کرده، جایگزین آن نمی‌شود و بنابراین حجم کلی پرکننده کم گردیده، باعث کاهش مقدار رطوبت در مواد غیرچرب و یا همان نسبت رطوبت به پروتئین می‌شود [١٤]. نتایج بدست‌آمده، منطبق با نتایج رحیمی و همکاران (۲۰۰۷) و مددلو همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد [١٥، ١٦]. اما در ارتباط با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، یک اثر دوگانه در ارتباط با نسبت رطوبت به پروتئین نمونه‌های پنیر

www.SID.ir

Archive of SID

مشاهده شد؛ بدین‌گونه که با افزایش آنزیم تا غلظت‌های میانی، نسبت رطوبت به پروتئین پنیر افزایش یافت اما در مقادیر بالاتر آنزیم، نسبت رطوبت به پروتئین نمونه‌ها کاهش پیدا کرد (شکل ۱). در تطابق با بخشی از نتایج بدست‌آمده، صیادی و همکاران (۲۰۱۳) عنوان داشتند که با افزودن ۱۵ واحد آنزیم به ازای هر لیتر شیر (تقریبا معادل ۰/۵ واحد آنزیم به ازای گرم پروتئین شیر) محتوای رطوبت افزایش می‌یابد [۷]. لازم به ذکر است در پژوهش پیش‌رو، مقادیر آنزیم از ۰ تا ۲ واحد به ازای گرم پروتئین شیر متغیر بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد استفاده از مقادیر بالاتر آنزیم، نه تنها باعث افزایش نسبت رطوبت به پروتئین پنیر نمی‌شوند بلکه کاهش آن را سبب می‌شود. در توضیح اثر دوگانه آنزیم می‌توان این‌گونه اظهار داشت که شبکه تشکیل شده به وسیله غلظت‌های پایین آنزیم TG در محیط رقیق پروتئینی شیر، از سینرزیس لخته پنیر طی مرحله برش‌زنی و دوره رسیدن جلوگیری می‌کند، این در حالیست که در غلظت‌های بالای آنزیم ترانس گلوتامیناز، گستره تشکیل پیوندهای ایزوپپتیدی بین پروتئین‌های شیر به قدری وسیع می‌شود که منجر به تشکیل یک شبکه ژل با اندازه ذرات و خلل و فرج کوچکتر و در نهایت انقباض بیشتر لخته پنیر و سینرزیس بالاتر آن می‌شود [۸]. افزایش غلظت WPI مورد استفاده، همانگونه که انتظار می‌رفت، با حفظ رطوبت بیشتر در پنیر و افزایش نسبت رطوبت به پروتئین همراه بود (شکل ۱). که با نتایج زالازار[1] و همکاران (۲۰۰۲) و ساهان[2] و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی دارد [۱۷،۱۸]. برهمکنش پروتئین‌های آب‌پنیر با آنزیم ترانس گلوتامیناز نیز از اثر معنی‌داری بر میزان رطوبت به پروتئین برخوردار بود. (جدول ۲). همانطور که در نمودار رویه سه بعدی اثر متقابل این دو متغیر قابل مشاهده است (شکل ۱) افزایش آنزیم در غلظت‌های بالای WPI موجب کاهش بیشتری در نسبت رطوبت به پروتئین نمونه‌های پنیر شد. با آنالیز نتایج ارزیابی pH نمونه‌های پنیر مدل معنی‌داری به دست نیامد که نشان‌دهنده اثر غیرمعنی‌دار متغییرهای مستقل بر pH نمونه‌های پنیر بود ($p>۰/۰۵$). با توجه به آنالیز داده‌ها، مدل ریاضی رابطه بین نسبت رطوبت به پروتئین و اجزای فرمولاسیون در پنیر کم‌چرب به صورت زیر (رابطه ۲) تعیین شد. در واقع پارامترهای مؤثر در مدل به دست آمده با توجه به آنالیز واریانس انجام شده، انتخاب و در مدل نهایی قرار داده شدند.

$$Y = ۳/۶۵ - ۰/۱۸X_۱ + ۰/۲۵X_۲ + ۰/۳۶X_۳ - ۰/۱۴X_۱X + ۰/۱۴ {}_۳X_۲X_۳ - ۰/۷۷X_۱^۲$$

که Y نسبت رطوبت به پروتئین، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

۲-۳- بازده پنیرسازی

نتایج حاصل از آنالیز آماری (جدول ۲) نشان داد که کاهش چربی به صورت معنی‌داری بازده پنیرسازی را کاهش می‌دهد (p ۰/۰۱ ≥) (شکل ۲). یکی از معایب تولید پنیر کم‌چرب، کاهش قابل توجه بازده پنیرسازی می‌باشد؛ اگرچه رطوبت جایگزین چربی موجود در پنیر می‌شود، اما کاهش کلی بازده (کیلوگرم پنیر به ازای کیلوگرم شیر) در تولید پنیر از شیر کم‌چرب ناگزیر است، زیرا مقدار رطوبت اضافه شده برابر با مقدار چربی کم شده نبوده، از این‌رو مجموع مقدار کازئین و چربی شیر که ترکیب‌های اساسی تعیین کننده‌ی بازده هستند کاهش می‌یابند [۱۹]. تیمار با آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا غلظت‌های میانی آن، راندمان پنیرسازی را به احتمال زیاد از راه افزایش نگهداری آب پنیر در دلمه افزایش داد (شکل ۲).

به طور مشابه‌ی پیرو[3] و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند که تیمار با ترانس‌گلوتامیناز چه همراه با رنت و چه پس از بریدن دلمه موجب افزایش رطوبت و راندمان پنیرسازی شد [۲۰]. نتایج حاصل نشان داد که افزودن پروتئین‌های آب‌پنیر منجر به افزایش بازده می‌شود (شکل ۲). بهبود بازده به دلیل حفظ سرم بیشتر در ماتریس پنیر در نتیجه تلفیق پروتئین‌های آب‌پنیر دناتوره به ماتریس پنیر می‌باشد پروتئین‌های آب‌پنیر دناتوره به واسطه

1. Zalazar
2. Sahan
3. Pierro

www.SID.ir

Archive of SID

توانایی بالای جذب آب، مانع سینرزیس در پنیر شده و بنابراین مقدار آب کمتری در طی پروسه تولید پنیر خارج می‌شود [۳]. در نهایت عبارات غیر معنی‌دار (p>۰/۰۵) از مدل حذف شدند و رابطه زیر برای تعیین بازده پنیرسازی بر اساس اجزای فرمولاسیون به دست آمد.

$$Y = ۱۰/۲۷ - ۰/۲۲X_۱ + ۰/۵۷X_۲ + ۱/۱۳X_۳ - ۱/۴۴ X_۲^۲$$

که Y بازده پنیرسازی، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

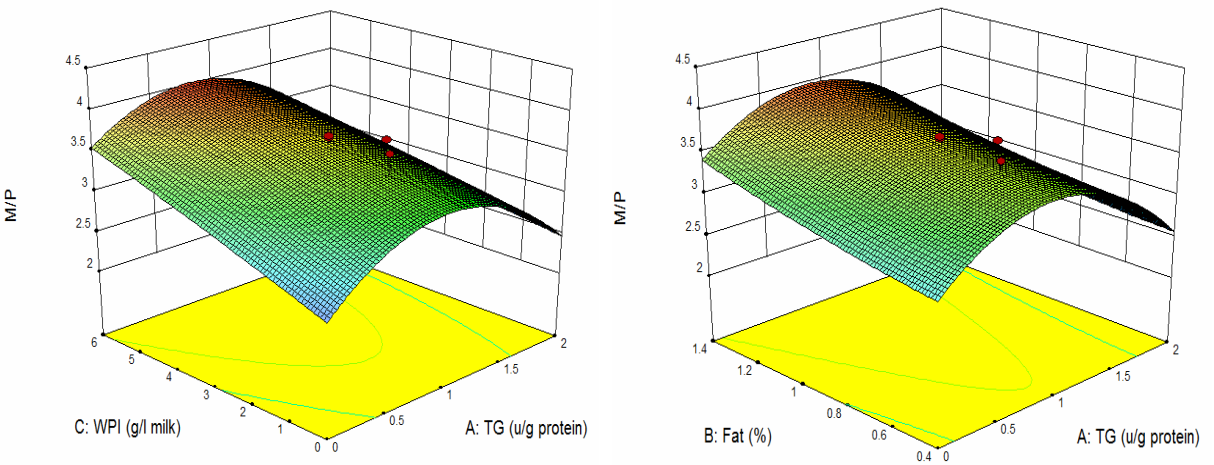

Fig 1 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on M:P ratio of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

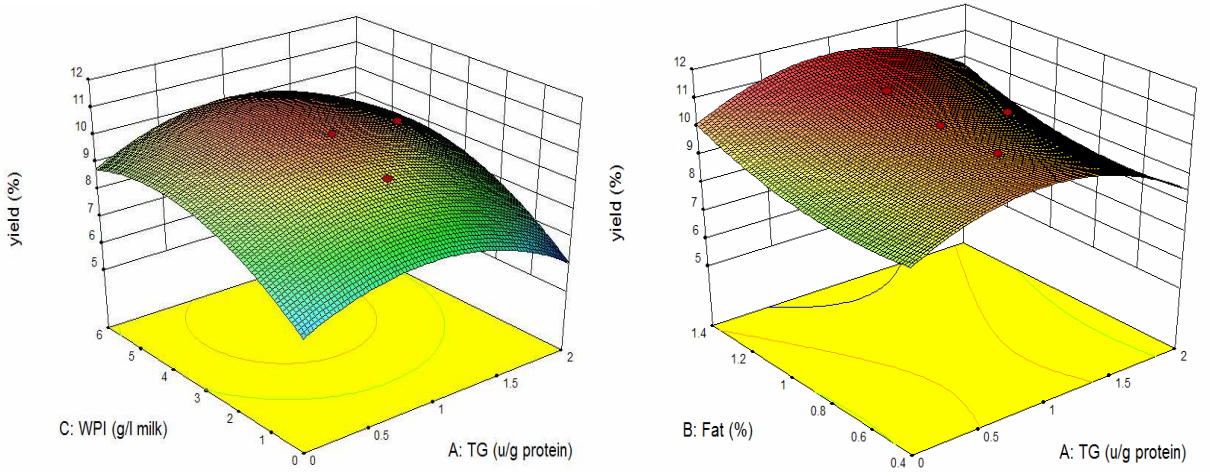

Fig 2 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on yield of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

۳-۳- آزمون بافت

۱-۳-۳- سفتی

یافته‌های تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار هر سه متغیر بر میزان سفتی بود ($p \leq$۰/۰۱) (جدول ۲). کاهش چربی باعث افزایش بسیار معنی‌دار سفتی شد (شکل ۳). چربی و رطوبت نقش پر کننده در ماتریس پنیر دارند و به پنیر بافتی نرم می‌دهند در حالی که ماتریس کازئینی خصوصیات الاستیک به بافت پنیر می‌دهد [۱۶]. در پنیرکم‌چرب، کاهش چربی به مقدار مساوی به

www.SID.ir

Archive of SID

وسیله رطوبت جایگزین نمی‌شود و در نتیجه، میزان فاز پرکننده در شبکه کاهش می‌یابد و باعث متراکم‌تر شدن شبکه می‌شود. چروکیدگی شبکه به معنای نزدیکی بیشتر پروتئین‌های ماتریس پنیر و به دنبال آن، افزایش پیوندهای بین پروتئینی و در نهایت افزایش سفتی بافت پنیر کم‌چرب می‌باشد [۱٤، ۱۹]. در تطابق با این نتایج، صیادی و همکاران (۲۰۱۳)، رحیمی و همکاران (۲۰۰۷) و مددلو همکاران (۲۰۰۵) مشاهده کردند که پنیر کم-چرب دارای سفتی بیشتری نسبت به نمونه پرچرب می‌باشد، که دلیل آن را به نقش روان کنندگی چربی در پنیر و ساختار فشرده کازئینی در اثر کاهش چربی نسبت دادند [۷، ۱۵، ۱٦]. افزودن WPI با افزایش نسبت رطوبت به پروتئین موجب کاهش سفتی پنیر شد (شکل ۳). منطبق با نتایج پژوهش جاری، رومیه[1] و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که جایگزین‌های چربی بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر، با افزایش میزان رطوبت در ماتریس پنیر میزان سفتی را در پنیر کم‌چرب کاهش می‌دهند [۱۹]. استفاده از آنزیم ترانس‌گلوتامیناز تا غلظت‌های میانی آن، باعث کاهش سفتی شد (شکل ۳)، که علت آن افزایش نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر و در نتیجه افزایش سهم جزء نرم کننده در بافت محصول می-باشد. در توضیح، سفتی بیشتر پنیر در مقادیر بالاتر از غلظت میانی آنزیم TG، باید عنوان داشت که افزایش مقدار آنزیم موجب شکل‌گیری پیوندهای بیشتری بین میسل‌های پروتئینی شده و در نتیجه مقدار مقاومت به تغییر شکل لخته پنیر افزایش یافته است. ملکو[2] و همکاران (۲۰۰٤) در نتایجی مشابه عنوان داشتند که آنزیم ترانس گلوتامیناز خصوصیات مکانیکی پنیر دانبو را تغییر می‌دهد و با افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، زمان و میزان انرژی لازم برای فرورفتگی پنیر افزایش می‌یابد [۲۱]. با توجه به آنالیز واریانس، مدل نهایی توضیح‌دهنده تغییرات سفتی پنیر بر اساس اجزای فرمولاسیون (رابطه شماره ٤) تعیین شد.

$$Y = ۰/۵۹ + ۰/۰۷X_۱ - ۰/۳٦X_۲ - ۰/۲۳X_۳ + ۰/۱۳X_۲X_۳$$

که Y سفتی، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

۲-۳-۳- چسبندگی

یافته‌های بررسی آماری اثر مقادیر مختلف چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و WPI بر چسبندگی نمونه‌های پنیر در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده اثر معنی‌دار متغیرهای مستقل بر چسبندگی نمونه‌های پنیر بود ($p \leq ۰/۰۱$) (جدول ۲). همانطور که در جدول و شکل‌های سه‌بعدی (شکل٤) می‌توان مشاهده کرد با کاهش چربی، چسبندگی نمونه‌های پنیر کاهش پیدا کرد. کاهش چربی منجر به متراکم شدن ماتریس پروتئینی می‌شود که در نتیجه آن چسبندگی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل منطبق با نتایج سالواتوره[3] و همکاران (۲۰۱٤) بود [۲۲]. افزودن ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر را افزایش داد (شکل ٤). ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر با جذب آب در شبکه پنیر، بافت پنیر را به سمت نرم و ضعیف شدن می‌برد که در نتیجه آن چسبندگی افزایش می‌یابد [۱۹]. آنزیم ترانس-گلوتامیناز در مقادیر پایین پروتئین تاثیر قابل توجه‌ای بر چسبندگی نمونه‌های پنیر نداشت در حالی که در غلظت‌های بالای ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر، افزایش آنزیم کاهش چسبندگی نمونه‌های پنیر را در پی داشت (شکل ٤). با افزایش مقدار آنزیم و پروتئین‌های آب‌پنیر پیوندهای ایزوپپتیدی افزایش یافته و شبکه پنیر مستحکم می‌شود [۲۳]، که در نتیجه آن، نیروی لازم برای غلبه بر چسبندگی بین پنیر و پروپ بافت سنج کاهش پیدا می-کند. رابطه ۵، مدل نهایی به دست آمده برای توضیح تغییرات چسبندگی پنیر کم‌چرب بر اساس اجزای فرمولاسیون را نشان می‌دهد.

$$Y = ۱/۹۰ - ۰/۳۸X_۱ + ۰/٦٤X_۲ + ۰/۳۰X_۳$$

که Y چسبندگی، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

1. Romeih
2. Mleko
3. Salvatore

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳-۳- پیوستگی

نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که چربی، ایزوله پروتئین-های آب‌پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از اثر خطی معنی‌داری بر پیوستگی نمونه‌های پنیر برخوردار می‌باشند ($p \leq ۰/۰۱$) (جدول ۲).

با کاهش چربی، میزان انسجام یا پیوستگی نمونه‌های پنیر افزایش پیدا کرد (شکل ۵).

کاهش چربی موجب ایجاد پیوندهای پیشتری بین پروتئین‌های ماتریس پنیر می‌شود و قدرت پیوندهای داخلی پنیر افزایش پیدا می‌کند که در نتیجه آن پروپ دستگاه سنجش بافت برای غلبه بر نیروهای درون مولکولی پنیر به نیروی بیشتری نیاز خواهد داشت [۲٤].

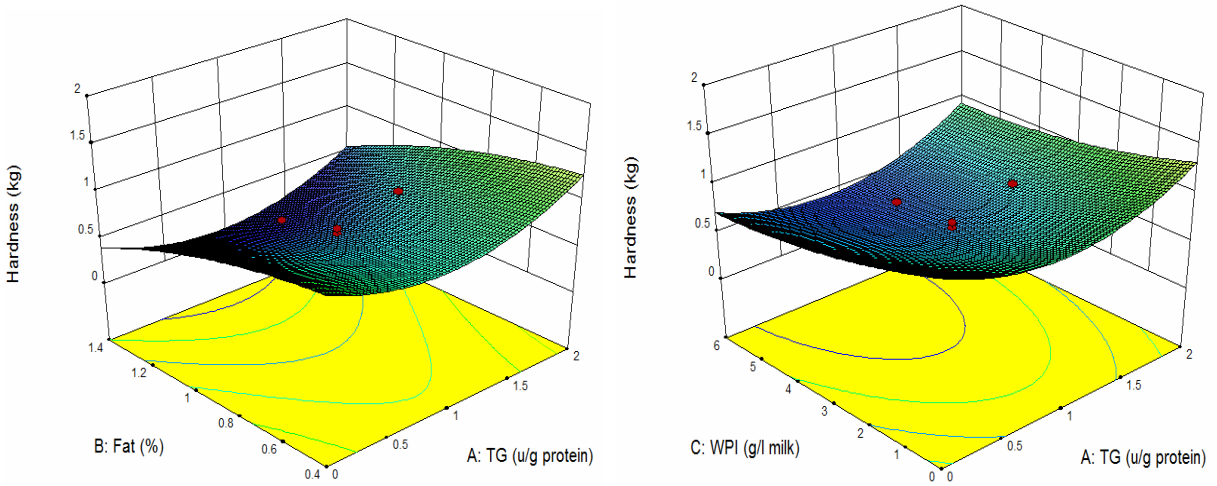

Fig 3 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on hardness of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

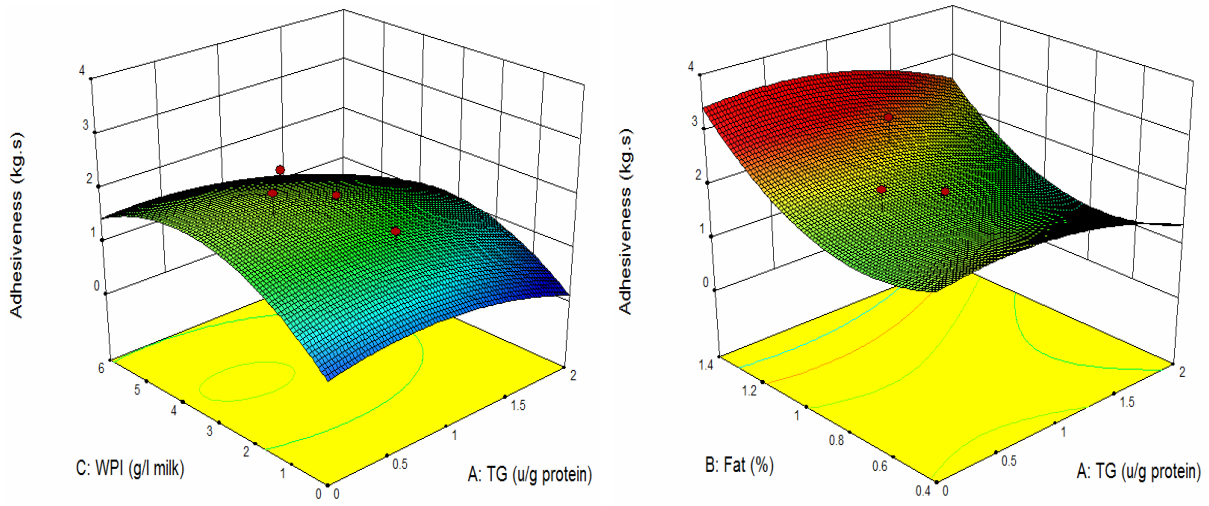

Fig 4 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on adhesiveness of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

افزودن ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر پیوستگی نمونه‌های پنیر را کاهش داد (شکل ۵). با افزایش ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر محتوای رطوبت افزایش پیدا می‌کند و بافت نرم‌تر با پیوندهای داخلی ضعیف‌تر حاصل می‌شود و پنیر حاصله به آسانی توسط

www.SID.ir

Archive of SID

دستگاه بافت‌سنج تغییر شکل می‌دهد [۲۵]. تیمار آنزیمی شیر پنیرسازی تا غلظت‌های میانی با حفظ آب در شبکه پنیر پیوستگی را کاهش داد اما در مقادیر بالای آنزیم، احتمالا به دلیل ایجاد پیوندهای عرضی بیشتر و تشکیل شبکه پروتئینی با خلل و فرج کمتر، پیوستگی افزایش پیدا کرد [۲۳]. مدل نهایی به دست آمده برای پیوستگی در رابطه ٦ نشان داده شده است.

$$Y = ۰/۳٦ + ۰/۰۳X_۱ - ۰/۰۷X_۲ - ۰/۰۷X_۳ + ۰/۰۲X_۱X_۳ + ۰/۱۲X_۱^۲$$

که Y پیوستگی، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

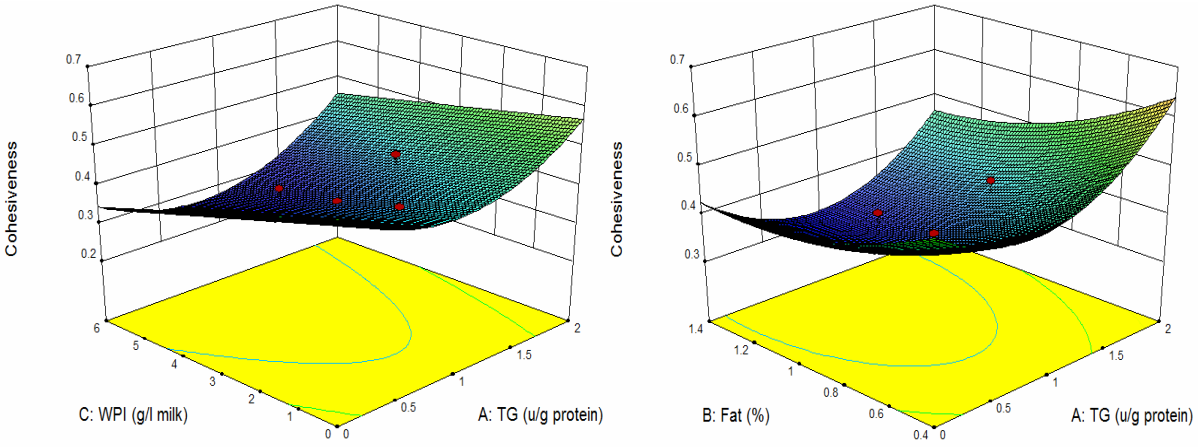

Fig 5 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on cohesiveness of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

٤-۳-۳- ارتجاع‌پذیری

یافته‌های تجزیه واریانس اثر مقادیر مختلف چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و WPI بر میزان ارتجاع‌پذیری تیمارهای پنیر تولیدی به شیوه سنتی در پایان یک دوره رسیدن ٦۰ روزه در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در جدول می‌توان مشاهده کرد اثر هر سه متغیر بر میزان ارتجاع‌پذیری پنیر معنی‌دار بود ($p \leq$ ۰/۰۱) (جدول ۲). ارتجاع‌پذیری نمونه‌های پنیر با کاهش چربی افزایش یافت (شکل ٦) که دلیل آن را می‌توان به افزایش تشکیل پیوندهای الاستیک بین پروتئینی در حضور کم‌رنگ چربی نسبت داد. پیامد این رخداد، در تغییر شکل قابل برگشت نمونه پنیر در برابر پروپ بافت سنج به خوبی قابل مشاهده بود. نتایج حاصل منطبق با نتایج کوکا و متین[1] (۲۰۰٤) بود [۲٦]. با افزودن ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر میزان ارتجاع‌پذیری کاهش پیدا کرد (شکل ٦).

جایگزین‌های چربی با جذب آب، استحکام شبکه پنیر را کاهش می‌دهند و در نتیجه آن در برابر فشار وارده تغییرات بیشتری در بافت پنیر حاصل شده و مقدار برگشتن آن به حالت اولیه یا همان ارتجاع‌پذیری کاهش می‌یابد [۱۱]. همانند پارامتر سفتی، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز بر ارتجاع پذیری نمونه‌های پنیر نیز تاثیری دوگانه داشت (شکل ٦) به گونه‌ای که پنیر حاصل از شیر تیمار شده با مقادیر بالای آنزیم، بافتی بسیار ارتجاع‌پذیر داشت. مدل نهایی به دست آمده نشان‌دهنده ارتباط بین ارتجاع‌پذیری پنیر کم-چرب و تغییرات اجزای فرمولاسیون در رابطه ۷ نشان داده شده است.

$$Y = ۱۵/۳۰ + ۰/۷۵X_۱ - ۲/۳۸X_۲ - ۲/٤٦X_۳ + ۰/۵۵X_۲X_۳$$

که Y ارتجاع‌پذیری، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

1. Koca and Metin

www.SID.ir

Archive of SID

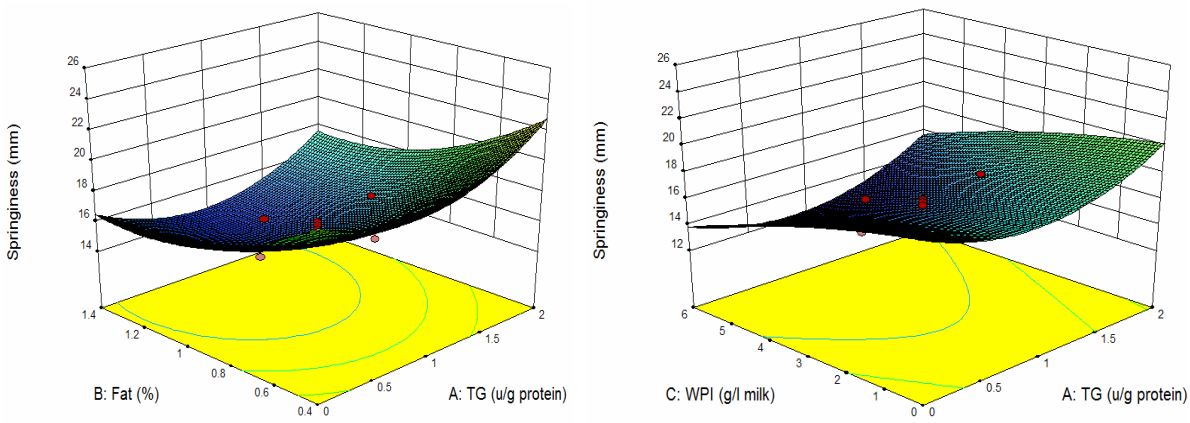

Fig 6 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on springiness of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

Table 2 Regression coefficients of predicted quadratic polynomial models for different responses

Coefficients	M/P	Yield	Hardness	Adhesiveness	Cohesiveness	Springiness	Color	Texture	Flavour	Total point
Constant	3.65**	10.27**	0.59**	1.90*	0.36**	15.30**	6.63*	8.97**	4.68**	65.98**
Linear										
β_1	-0.18*	-0.22	0.07	-0.38*	0.03**	0.75*	ns	-0.6**	ns	Ns
β_2	0.25**	0.57**	-0.36**	0.64**	-0.07**	-2.38**	0.83**	1.74**	1.46**	14.75**
β_3	0.36**	1.13**	-0.23**	0.30	-0.07**	-2.64**	0.48*	0.74**	-1.14**	Ns
Interaction										
β_{12}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
β_{13}	-0.14*	ns	ns	ns	0.02	ns	ns	ns	ns	ns
β_{23}	0.14*	ns	0/13*	ns	ns	0.55	ns	-0.47*	-0.24	-3.15
Quadratic										
β_{11}	-0.77	-1.44	ns	ns	0.12	ns	ns	-2.59*	ns	ns
β_{22}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
β_{33}	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
$R^{۲}$	0.969	0.983	0.972	0.887	0.981	0.977	0.888	0.982	0.979	0.949
R^2-adjust	0.942	0.968	0.947	0.768	0.964	0.957	0.787	0.966	0.960	0.904
Lack of fit	0.051	0.13	0.09	0.06	0.06	0.19	0.77	0.12	0.84	0.20
CV	3.59	2.60	10.91	16.94	4.90	3.69	4.70	4.23	5.64	6.01

β_1, β_2, & β_3 are TG, fat and WPI, respectively.
ns: no significant effect at level<0.05; Without star p<0.05; *p<0.01; ***p<0.001

٤-٣- ارزیابی حسی

٤-٣-١- مقبولیت رنگ وظاهر

نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد افزایش چربی و WPI موجب کسب امتیاز بیشتر رنگ و ظاهر نمونه‌های پنیر در بین پانلیست‌ها شده است. در حالی که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر رنگ و ظاهر نمونه‌های پنیر نداشت (p>٠/٠٥) (جدول ٢). رنگ و ظاهر هر ماده غذایی از طریق بازتاب، جذب یا عبور نور تحت تاثیر قرار می‌گیرد که به نوبه خود به ساختار فیزیکی و ماهیت شیمیایی مواد غذایی مرتبط است. کدورت و سفیدی پنیر جلوه‌ای از پراکندگی نور است [١٤]. رنگ متمایل به سبز که یک عیب متداول در پنیرهای کم‌چرب است می‌تواند با پراکندگی کمتر نور توسط گلبول‌های چربی، در پنیر کم‌چرب مرتبط باشد [٢٧]. افزایش در تعداد مراکز پراکندگی نور در پنیر به دلیل افزودن WPI به احتمال زیاد منجر به کسب امتیاز

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر رنگ و ظاهر شده است. با توجه به آنالیز واریانس، مدل ریاضی توصیف کننده مقبولیت رنگ و ظاهر بر اساس تغییرات اجزای فرمولاسیون به صورت زیر (رابطه شماره ۸) تعیین شد.

$$Y = ۶/۶۳ + ۰/۸۳X_۲ + ۰/۴۸X_۳$$

که Y مقبولیت رنگ و ظاهر، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

۲-۴-۳- مقبولیت عطر و طعم

یافته‌های بررسی آماری (جدول ۲) نشان داد که چربی و WPI از اثر معنی‌داری بر مقبولیت عطر و طعم نمونه‌های پنیر برخوردار می‌باشند ($p \leq ۰/۰۱$). با افزایش چربی نمونه‌های پنیر، امتیاز عطر و طعم محصول به صورت چشمگیری افزایش پیدا کرد که نشان از اهمیت فراوان چربی در عطر و طعم نمونه‌ها می‌باشد. این نتایج مطابق با نتایج کوکا و متین (۲۰۰۴) و سیپاهیاغلو[1] و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد [۲۶، ۲۸]. اما با افزایش WPI همواره امتیاز عطر و طعم کاهش پیدا کرد. آنزیم ترانس گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر عطر و طعم نمونه‌های پنیر نداشت. مدل ریاضی تعیین‌کننده ارتباط بین مقبولیت عطر و طعم و اجزای فرمولاسیون به صورت زیر (رابطه شماره ۹) بدست آمد.

$$Y = ۴/۶۸ + ۱/۴۶X_۲ - ۱/۱۴X_۳ - ۰/۲۴X_۲X_۳$$

که Y مقبولیت عطر و طعم، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

۳-۴-۳- مقبولیت بافت و قوام

نتایج حاصل از بررسی آماری اثر مقادیر مختلف چربی، آنزیم ترانس گلوتامیناز و WPI بر بافت و قوام نمونه‌های پنیر در جدول ۲ نشان داده شده است. افزایش چربی همواره باعث کسب امتیاز بیشتر بافتی از دید ارزیاب‌ها شد (جدول ۲). چربی نقش مهمی در بافت دارد و به عنوان روان‌ساز اصلی عمل می‌کند با افزایش چربی، نقش روان‌کنندگی آن در ماتریس پنیر افزایش پیدا کرده و امتیاز بافتی از دید ارزیاب‌ها بهبود پیدا کرد. نتایج حاصل با نتایج کوکا و متین (۲۰۰۴) مطابقت داشت [۲۶].

همانگونه که از نتایج آزمون‌های بافت‌سنجی قابل پیش‌بینی بود، آنزیم بر امتیاز بافت نمونه‌های پنیر اثر دوگانه‌ی داشت. افزایش مقدار آنزیم تا مقادیر میانی امتیاز بافت نمونه‌ها را افزایش داد اما با افزایش بیشتر آن، به دلیل لاستیکی شدن بافت پنیر، امتیاز داده شده از طرف پانلیست‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ی پیدا کرد (جدول ۲). افزایش WPI نیز با نرم کردن بافت نامطلوب پنیر کم‌چرب موجب کسب امتیاز بیشتر شد که البته تاثیر آن کمتر از چربی بود (جدول ۲). رابطه ریاضی بین مقبولیت بافت و قوام و اجزای فرمولاسیون به صورت زیر (رابطه شماره ۱۰) تعیین شد.

$$Y = ۸/۹۷ - ۰/۶X_۱ + ۱/۷۴X_۱ + ۰/۷۴X_۲ - ۰/۴۷X_۲X_۳ - ۲/۹۵X_۱^۲X_۳$$

که Y مقبولیت بافت و قوام، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

۴-۴-۳- پذیرش کلی

بررسی نتایج حاصل از پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نشان داد که چربی از بیشترین تاثیر بر امتیاز کلی نمونه‌های پنیر برخوردار می‌باشد (جدول ۲). به گونه‌ای که با افزایش آن، امتیاز پذیرش کلی به گونه چشمگیری افزایش یافت (شکل ۷). افزودن ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر اثر معنی‌داری بر امتیاز کلی نمونه‌های پنیر نداشت ($p>۰/۰۵$). با توجه به اثر معنی‌دار و منفی WPI بر مقبولیت عطر و طعم و از سوی دیگر اثر مثبت و معنی‌دار آن بر مقبولیت رنگ و ظاهر و بافت، عدم اثر معنی‌دار پروتئین‌های آب-پنیر بر امتیاز کلی قابل توجیه می‌باشد. در این میان، آنزیم ترانس-گلوتامیناز نیز اثر معنی‌داری بر روی پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نشان نداد ($p>۰/۰۵$). در نهایت با توجه به آنالیز واریانس، مدل ریاضی توضیح‌دهنده ارتباط بین پذیرش کلی پنیر کم‌چرب نزد مصرف‌کنندگان و تغییرات اجزای فرمولاسیون به صورت زیر (رابطه شماره ۱۱) تعیین شد.

$$Y = ۱۴/۷۵X_۲ - ۳/۱۵X_۳ - ۶۵/۹۸X_۲X_۳$$

که Y پذیرش کلی، X_1 ترانس گلوتامیناز، X_2 چربی و X_3 ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر می‌باشند.

1. Sipahioglu

www.SID.ir

Archive of SID

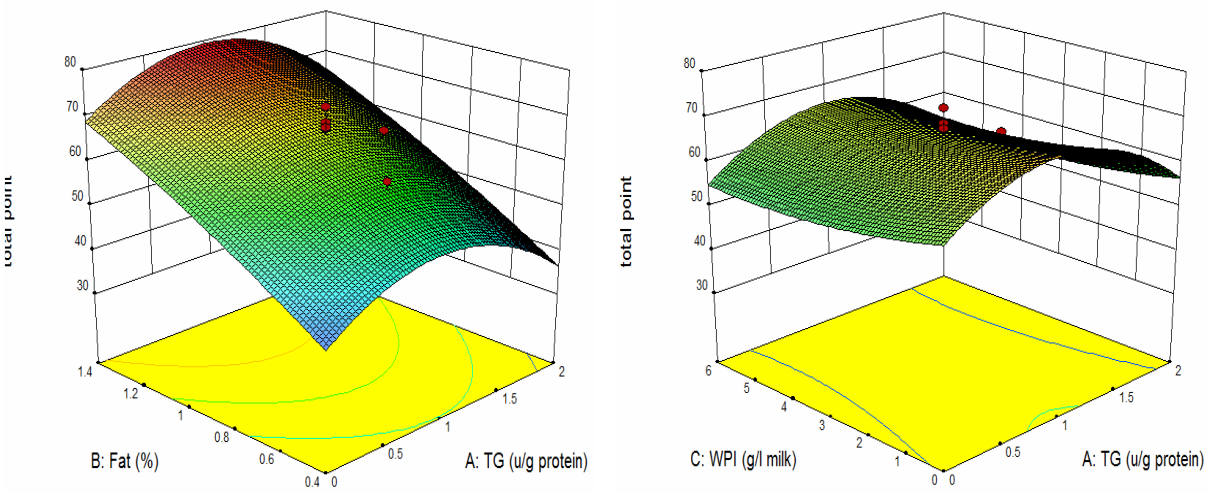

Fig 7 Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on total sensory score of low-fat Iranian white cheese incorporated with whey protein isolate and treated with transglutaminase

٥-٣- بهینه سازی و اعتبار سنجی مدل

از تکنیک اپتیمم کردن عددی نرم افزار Design Expert برای اپتیمم کردن هم‌زمان چندین پاسخ استفاده شد. اهداف و محدوده مورد نظر برای پاسخ‌ها با توجه به ویژگی‌های نمونه پرچرب (جدول ٣) انتخاب شد و بهینه‌سازی انجام گرفت. نتایج بهینه-سازی نشان داد که مقادیر بهینه متغیرهای مستقل آنزیم ترانس-گلوتامیناز، چربی و ایزوله پروتئین‌های آب‌پنیر به ترتیب ٠/٩١ واحد به ازای گرم پروتئین شیر، ٠/٩٩٪ چربی شیر و ٥/٠٥ گرم به ازای هر لیتر شیر می‌باشد. در نهایت برای مشخص کردن کارایی این روش، فرمولاسیون پیشنهاد شده توسط مدل، تولید شد و نتایج حاصل از آن با نتایج پیشگویی شده مقایسه گردید. عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ٩٥٪ کارایی مدل‌ها را به خوبی اثبات می‌کند.

Table 3 Performance of models in predicting the optimum formulation ingredients

	M:P	Yield (%)	Hardness (kg)	Adhesiveness (kg.s)	Springiness (mm)	Cohesiveness (-)	Total sensory score (1-100)
Predicted	3.73	10.31	0.72	1.63	15.00	0.33	57.85
Experimental	3.70±0.11	10.19±0.13	0.74±0.03	1.53±0.3	15.98±1.1	0.36±0.03	55.42±5.03
Control full-fat	3.65±0.06	11.28±0.42	0.6±0.04	1.33±0.2	16.09±1.2	0.532±0.45	88.21±6.01

٤- نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کاهش چربی در پنیر سفید ایرانی موجب نامطلوب شدن بافت پنیر و کاهش شدید مقبولیت آن در بین مصرف کنندگان می‌شود. با به بکارگیری روش سطح پاسخ و با استفاده از تلفیق میزان بهینه پروتئین آب‌پنیر به ماتریس پنیر سفید آب‌نمکی کم‌چرب، به همراه تیمار آنزیمی شیر پنیرسازی با غلظت بهینه‌ای از ترانس‌گلوتامیناز، می-توان محصولی با چربی پایین، ویژگی‌های مطلوب بافتی و خصوصیات تغذیه‌ای مفید تولید کرد که از ویژگی‌هایی مشابه با پنیر پرچرب برخوردار بوده و مورد پسند مصرف کنندگان نیز واقع می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بابت حمایت مالی و معنوی و همچنین از شرکت شیر پاستوریزه پگاه خوزستان به‌ویژه جناب آقای دکتر منصور شاکریان و جناب آقای مهندس پیمان فرهنگ به دلیل حمایت‌های بی‌دریغ و انجام هماهنگی‌های لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

٦- منابع

[1] Costa, N. E., O'Callaghan, D. J., Mateo, M. J., Chaurin, V., Castillo, M., Hannon, J. A., ... & Beresford, T. P. (2012). Influence of an exopolysaccharide produced by a starter on milk coagulation and curd syneresis. International Dairy Journal, 22(1), 48-57.

[2] Banks, J. M. (2004). The technology of low fat cheese manufacture. International Journal of Dairy Technology, 57(4), 199-207.

[3] Hinrichs, J. (2001). Incorporation of whey proteins in cheese. International Dairy Journal, 11(4), 495-503.

[4] Lucey, J. A., & Gorry, C. (1994). Effect of Simplesse 100 on the manufacture of low fat Cheddar cheese. In IDF seminar. Cheese yield and factors affecting its control. Cork (Ireland). Apr 1993..

[5] Santoro, M., & Faccia, M. (1996). Degradation of the protein fraction in a cheese fortified with whey proteins. Nederlands melk en Zuiveltijdschrift, 50(1), 61-68.

[6] Zoon, P., & Hols, G. (1993). Inclusion of whey proteins in Gouda-type cheese. In Protein and fat globule modifications by heat treatment, homogenization and other technological means for high quality dairy products. IDF Seminar, Munich (Germany), 25-28 Aug 1992. FIL-IDF.

[7] 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.

[8] Özer, B., Hayaloglu, A. A., Yaman, H., Gürsoy, A., & Şener, L. (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. International Dairy Journal, 33(2), 129-134.

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

[10] Johnson, M. E., Chen, C. M., & Jaeggi, J. J. (2001). Effect of rennet coagulation time on composition, yield, and quality of reduced-fat Cheddar cheese. Journal of Dairy Science, 84(5), 1027-1033.

[11] Jooyandeh, H. (2009). Effect of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian white cheese. Journal of Texture Studies, 40(5), 497-510.

[12] 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.

[13] Goudarzi, M., A. Madadlou., M.E. Mousavi & Z. Emam-Djomeh. (2012). Optimized preparation of ACE-inhibitory and antioxidative whey protein hydrolysate using response surface method. Dairy Science and Technology, 92, 641–653

[14] 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.

[15] 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. American Dairy Science Association, 90, 4058–4070.

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

www.SID.ir

Archive of SID

[17] 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.

[18] Sahan, N., Yasar, K., Hayaloglu, A. A., Karaca, O. B., & Kaya, A. (2008). Influence of fat replacers on chemical composition, proteolysis, texture profiles, meltability and sensory properties of low-fat Kashar cheese. Journal of Dairy Research, 75(01), 1-7.

[19] 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.

[20] Pierro, P. D., Mariniello, L., Sorrentino, A., Giosafatto, C. V. L., Chianese, L., & Porta, R. (2010). Transglutaminase-induced chemical and rheological properties of cheese. Food Biotechnology, 24(2), 107-120.

[21] 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.

[22] Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., & Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. International Dairy Journal, 34(1), 1-5.

[23] 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.

[24] Zisu, B., & Shah, N. P. (2005). Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. International Dairy Journal, 15(6), 957-972.

[25] Saint-Eve, A., Lauverjat, C., Magnan, C., Déléris, I., & Souchon, I. (2009). Reducing salt and fat content: Impact of composition, texture and cognitive interactions on the perception of flavoured model cheeses. Food Chemistry, 116(1), 167-175.

[26] Koca, N., & Metin, N. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh Kashar cheese produced by using fat replacers. International Dairy Journal, 14, 365-373.

[27] Fife, R. L., McMahon, D. J., & Oberg, C. J. (1996). Functionality of low fat Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 79(11), 1903-1910.

[28] Sipahioglu, O., Alvarez, V. B., & Solano-Lopez, C. (1999). Structure, physico-chemical and sensory properties of feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. International Dairy Journal, 9(11), 783-789.

www.SID.ir

Archive of SID

Influence of transglutaminase treatment and whey protein isolate on physicochemical, textural and organoleptic properties of low-fat white-brined cheese

Danesh, E.[1], Jooyandeh, H.[2*], Goudarzi, M.[3]

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. M.Sc., Department of Food Science and Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 2015/11/19 Accepted: 2016/04/11)

The present work aimed to evaluate the impact of transglutaminase treatment (0-2 U g^{-1} milk protein) and whey proteins isolate (0-6 g/l milk) on physicochemical, textural and organoleptic properties of low-fat (0.4-1.4% milk fat) white-brined cheese. Data showed that fat reduction was concomitant with significant decrease in moisture to protein (M:P) ratio, resulting in increased hardness, cohesiveness, and springiness and decreased adhesiveness, cheese yield and consumer acceptance. Whey proteins, despite improving textural characteristic, did not significantly influence the total sensory scores of the low-fat white-brined cheese attributed to their adverse effect on the flavor acceptability of the final product. Increase in transglutaminase concentration up to a critical level, which was dependent on whey protein concentration, promoted the M:P ratio and hence caused increased cheese yield and deceased hardness, cohesiveness, and springiness; but further increase in enzyme concentration adversely affected the textural attributes. Response surface optimization revealed that treating the cheese milk (0.99% w/w fat) containing 5.05 g/l why protein isolate with an enzyme concentration of 0.91 U g^{-1} milk protein, makes it possible to produce a low-fat white-brined cheese with desired textural and organoleptic characteristics.

Keywords: Low-fat white-brined cheese, Whey protein isolate, Transglutaminase, Texture, Sensory attributes

* Corresponding author: hosjooy@yahoo.com

www.SID.ir