تاثیر مدت زمان رسانیدن بر پروفیل اسیدهای چرب، ریز ساختار و خواص حسّی پنیر UF فتا

مصطفی کرمی*[۱]، محمد رضا احسانی[۲]، محمد علی ابراهیم‌زاده موسوی[۳]، کرامت الله رضایی[۴] و محمد صفری[۵]

۱، عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمانشاه

۲، ۳، ۴، ۵، استاد و دانشیاران پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران،

(تاریخ دریافت: ۸۶/۶/۲۰- تاریخ تصویب: ۸۷/۳/۸)

چکیده

در این تحقیق، طی رسانیدن پنیر UF (روزهای ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰) تغییرات اسیدهای چرب و خواص فیزیکوشیمیایی مورد مطالعه قرار گرفت. با افزایش مدت رسانیدن، در اثر تبدیل اسیدهای چرب به فرآورده های ثانویه عطری و طعمی، درصد اسیدهای چرب $C_{4:0}$-$C_{12:0}$ به طور معناداری کاهش یافت ($P<۰/۰۵$) در حالی که درصد اسیدهای چرب $C_{14:0}$-$C_{18:2}$ در اثر تجمع این اسیدها یا کاهش اسیدهای چرب کوتاه و متوسط زنجیر افزایش یافت. میزان تجزیه اسیدهای چرب $C_{4:0}$-$C_{10:0}$ طی زمان رسانیدن به طور معناداری بالا بود. عکس‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که با افزایش زمان رسانیدن از ۳ تا ۶۰ روز، گلبول‌های چربی تجزیه شده و بافتی همگن ایجادمی‌شود، به نحوی که پس از ۲۰ روز، گلبول چربی قابل مشاهده‌ای یافت نشد و به جای گلبول‌ها، حفراتی حاصل از شکستن چربی باقی ماند. نتایج بررسی خواص حسی پنیر نشان داد که زمان‌های متفاوت، تأثیری بر خواص ظاهری و طعم تندی این پنیر نداشتند. پس از ۲۰ روز، خواص بافتی، عطر و طعم و پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نسبت به روز سوم رسانیدن، به طور معنا داری بالاتر بود ($P<۰/۰۵$).

واژه‌های کلیدی: اسیدهای چرب ، پنیر UF فتا، ریز ساختار، خواص حسّی، میکروسکوپ الکترونی روبشی

مقدمه

پنیر UF فتا پنیری است که از شیر پاستوریزه گاو در کارخانجات مدرن و با استفاده از کشت‌های آغازگر مزوفیل و رنت تجاری ساخته می‌شود. این پنیر ساختاری یکنواخت، بدون حفره، قوام نرم و خمیری و گاهی شکننده و رنگی سفید دارد. این پنیر از ریتنتیت[۱] هموژنیزه حاصل از شیر فراپالایش شده[۲] با میزان ماده خشک حدوداً ۳۹/۵٪ (برای پنیر فتای با ۴۰٪ چربی در ماده خشک) درست می‌شود. مایه پنیر و کشت آغازگر، به شیر تغلیظ شده اضافه شده و پنیر مستقیماً قالب‌گیری می‌شود. کمینه نمک این پنیر ۲٪ است اما اغلب در تولید از ۴٪ نمک استفاده می‌شود. pH آن پایین و بین ۴/۵-۴/۲ متغیر است. پنیر فتایی که بدین روش ساخته می‌شود حاوی اغلب پروتئین‌های آب پنیر است. در این پنیر، ۱۵٪ از کل پروتئین‌ها از پروتئین‌های آب پنیر تشکیل شده است در حالی که در پنیر فتای سنتی، مقدار این پروتئین‌ها، ۱/۵-۱٪ است.

لیپولیز یکی از واکنش های بیوشیمیایی اصلی طی رسیدن پنیر است. اسیدهای چرب آزاد شده (FFA[۳]) طی لیپولیز به همراه ترکیبات فرّار و محصولات حاصل از چرخه پروتئولیز، به طور مستقیم در عطر و طعم پنیر دخالت دارند (McSweeney & Sousa, 2000; Urbach, 1993). میزان لیپولیز در گونه‌های متفاوت پنیر، از لیپولیز کم در پنیرهای هلندی (Walstra et al., 1993) تا بسیار زیاد در پنیرهای رسیده شده با کپک[۴] و پنیر سخت ایتالیایی[۵] متغیر است (Battistotti & Corradini, 1993; Gripn, 1993; Reps, 1993). علاوه بر این، از پروفیل اسیدهای چرب آزاد کوتاه و متوسط زنجیر به عنوان شاخصی برای طبقه‌بندی انواع پنیر طی دوران رسانیدن استفاده می‌شود (Woo & Lindsay, 1984; Woo et al., 1984).

عوامل ایجاد لیپولیز در پنیر عبارتند از آنزیم های چربی شکن که به طور طبیعی در شیر وجود دارند (لیپاز شیر)، رنت (پری‌گاستریک استراز[۶]) و فلور میکروبی (Fox et al., 1993; Collins et al., 2003a). مشارکت لیپاز شیر در لیپولیز به

* نویسنده مسئول E-mail: mostafa1358us@yahoo.com

1 . Retentate
2 . Ultrafiltered
3 . Free fatty acid
4 . Mould ripened cheese
5 . Italian hard cheese
6 . Pregastric esterase

حرارت‌دهی شیر پنیرسازی بستگی دارد و پاستوریزاسیون باعث کاهش فعالیت آن می‌شود. در فرآیند پاستوریزاسیون (۷۲ ^{o}C به مدت ۱۵ ثانیه)، فعالیت لیپاز به میزان ۸۳٪ کاهش می‌یابد و پس از حرارت‌دهی در دمای ۷۸^{o}C به مدت ۱۵ ثانیه، ۱۰۰٪ فعالیت آن از بین می‌رود (Driessen, 1989). از این رو، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فرآیند حرارتی ثانویه طی تولید پنیر UF (حرارت‌دهی شیر پاستوریزه در ۵۰^{o}C، قبل و در خلال فرآیند اولترافیلتراسیون) باعث می‌شود که مقدار فعالیت لیپاز به میزان زیادی کاهش یابد و قطعاً پنیری که از چنین شیر تغلیظ شده حرارت دیده‌ای تولید شود، فعالیت لیپولیتیکی کمی خواهد داشت (Rao & Renner, 1989). لیپوپروتئین لیپاز[1] (LPL) از موقعیت *Sn-1* و *Sn-3*، منو، دی و تری گلیسرید، اسید چرب آزاد می‌کند که نقش بارزی در طعم پنیر دارد (Collins et al., 2003a).

در حال حاضر، اطلاعی از ترکیب درصد اسیدهای چرب پنیر فتا طی دوران رسیدن موجود نیست. مقالاتی که در مورد ترکیب اسیدهای چرب پنیر فتا نوشته شده‌اند، اساساً در مورد پنیر فتای سنتی یا بدون استفاده از فرآیند فراپالایش بوده‌اند (Abd El-Salam et al., 1993; Akin et al., 2003; Anifantakis, 1991; Efthymiou, 1967; Georgala et al., 1999; Horwood et al., 1981; Katsiari et al., 2000; Kondyli et al., 2002). بنابراین، هدف از این تحقیق، بررسی فرآیند لیپولیز و ترکیب درصد اسیدهای چرب طی رسانیدن پنیر UF فتای تولیدی به روش فراپالایش بوده است.

مواد و روش‌ها

کشت‌های آغازگر (وای۵۰۲[2] و دی اِم ۲۳۰[3]) از شرکت دنیسکو[4] (آلمان) و مایه پنیر (فروماز آر ۲۲۰۰ تی اِی پودری[5]) با قدرتی بیش از IMCU2200[6] در گرم به صورت مایه پنیر میکروبی حاصل از کپک *Rhizomucor miehei* از شرکت دی‌اس‌ام[7] (فرانسه) تهیه گردید. شیر، تجهیزات و واحد فیلتراسیون توسط شرکت شیر پاستوریزه پگاه همدان فراهم گردید.

ساخت پنیر

نمونه‌های پنیر در کارخانه شیر پاستوریزه پگاه همدان تولید شدند. پس ازمراحل باکتوفیوگاسیون[8]، پاستوریزاسیون، فراپالایش، هموژنیزاسیون و پاستوریزاسیون مجدّد، ریتنتیت وارد تانک کشت آغازگر شده و با افزودن کشت آغازگر، pH شیر به ۶/۲ رسید. سپس در دستگاه پرکن، مایه پنیر داخل آب استریل حل شده و پس از ریختن ریتنتیت به داخل ظروف پنیر، مایه پنیر نیز اضافه گردید. آن گاه در داخل تونل انعقاد با دمای حدوداً ۳۷^{o}C و زمان ۳۰ دقیقه، ریتنتیت منعقد شده و به پیش پنیر تبدیل شد. در ماشین دربندی ۴٪ نمک (وزنی/وزنی) بر روی کاغذ پارچمنت که روی سطح بالایی پنیر قرار می‌گیرد، ریخته شد و با استفاده از فویل آلومینیوم، در ظروف بسته شدند. در مرحله پیش رسانیدن یا انبار گرم، پس از افت pH به ۴/۸، پنیر به سردخانه فرستاده شده، سرد گردیده و به مدت ۶۰-۳ روز در دمای ۹±۱^{o}C برای انجام آزمایش‌ها نگهداری گردید.

آزمایش‌ها فیزیکوشیمیایی

آزمایش تعیین رطوبت به روش حرارت‌دهی نمونه‌های پنیر تا رسیدن به وزن ثابت با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مدل سارتوریوس[9] انجام شد. چربی نمونه‌ها طبق روش BSI (1995) و نمک طبق روشی که توسط Kirk & Sawyer (۱۹۹۱) ارائه شده و pH با استفاده از pHمتر مدل کنیک ۷۶۶ کالیماتیک[10] اندازه‌گیری شدند. تمامی این آزمایش‌ها در سه تکرار انجام شدند.

اندازه‌گیری اسیدهای چرب

اسیدهای چرب $C_{4:0}$-$C_{18:3}$ از پنیر استخراج شدند. در مرحله استخراج، برای متلاشی کردن غشاء گلبول چربی از دی اتیل اتر استفاده شد. با استفاده از کلروفرم و متانول به نسبت ۷۰ به ۳۰، اسیدهای چرب استخراج شده و بدون تغلیظ یا استفاده از دمای بالا، در فاز کلروفرم متیله شدند. تمامی مراحل استخراج در دمای پایین انجام شد تا از پریدن اسیدهای چرب آزاد فرّار، مخصوصاً اسیدبوتیریک جلوگیری شود. پروفیل اسیدهای چرب به وسیله گازکروماتوگرافی[11] (GC) و با روشی که قبلاً توسط Nieuwenhof & Hup (۱۹۷۱) ارائه شده بود و با برخی اصلاحات تعیین شد. اسیدهای چرب $C_{4:0}$-$C_{18:3}$ با استفاده از ستون TM FAME BPX-70 (µm 2/0 mm ×25/0×m120) و با دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل اجیلنت ۶۸۹۰[12] (هولت-پاکارد آلمان[13]) جداسازی شدند. نوع

1 . Lipoprotein lipase
2. Y 502
3. DM 230
4 . Danisco
5 . Fromase ® 2200 TL
6 . International milk clotting unit
7 . DSM
8 . Bactofugation

9 . Sartorius
10 . Knick 766 calimatic
11 . Gas chromatography
12 . Agilent 6890^{+}
13 . Hewlett Packard, Germany

آشکارساز به کار رفته، آشکارساز یونیزاسیون شعله‌ای[1] (FID) بود. دمای تزریق ۲۵۰°C و نسبت تقسیم[2] ۱:۱۰۰ تعیین گردید. از آشکارساز با دمای ۲۸۰ °C و گاز حامل، نیتروژن (N_2) با جریان ۶/. میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد.

دمای اُون در ۴۵ °C تنظیم شده و به مدت ۴ دقیقه نگهداری شد، سپس دما تا ۱۷۵ °C با نرخ ۱۳ °C/دقیقه افزایش یافته و به مدت ۲۸ دقیقه این دما حفظ شد. پس از آن دما با نرخ ۴ °C/دقیقه افزایش یافته تا به دمای نهایی ۲۱۵ °C برسد و در نهایت به مدت ۳۸ دقیقه این دما حفظ شد. نمونه‌ای از کروماتوگرام به دست آمده در این تحقیق و با روش فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.

ریز ساختار

در روزهای ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ رسانیدن پنیر، برای تهیه عکس‌های میکروسکوپی نمونه‌هایی برداشته شده و با استفاده از روش Drake et al. (۱۹۹۶) با برخی از اصلاحات، عملیات آماده‌سازی انجام شد.

در ابتدا با استفاده از یک تیغ تیز، نمونه‌هایی مکعبی شکل با ابعاد ۶-۵ mm^3 از قالب‌های پنیر بریده شده و برای ثابت نگهداشتن آنها، در داخل گلوتارآلدئید ۲/۵٪ (وزنی/وزنی) به مدت ۳ ساعت قرار داده شدند. در این روش، از مرحله شستشو با سری‌های حلّال و آب مقطر و آبگیری بوسیله اتانول که توسط محققین مذکور تشریح شده بود، استفاده نشد. نمونه‌ها در دمای پایین نگهداری شدند تا در نیتروژن مایع منجمد و به قطعاتی با اندازه ۱ mm شکسته شوند (Sipahioglu et al., 1999). از قطعات شکسته شده، نمونه‌هایی برداشته شده و بر روی پایه‌های آلومینیومی با چسب نقره ثابت گردیدند، سپس تا نقطه بحرانی خشک شده و به مدت ۳۰۰ ثانیه با استفاده از دستگاه اسپاتر کوتر[3] (بالزر، نوع اس سی دی ۰۰۵، شرکت بالتک، سوئیس[4]) طلاافشانی شدند. عکس نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[5] (SEM) (سری ایکس ال، مدل ایکس ال ۳۰، فیلیپس، هلند[6]) با جریان ۱۵ کیلوولت و با بزرگنمایی ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ گرفته شد.

خواص حسّی

نمونه‌های پنیر در روزهای ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ توسط گروه ارزیاب متشکّل از ۱۶ نفر آشنا به درجه‌بندی پنیر UF فتا، بررسی شده و از لحاظ ظاهر (۱۵-۰)، بافت (۳۰-۰)، عطر و طعم (۵۰-۰) و طعم تندی (۵-۰) امتیاز بندی شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

از روش آنالیز واریانس LSD برای بررسی اثر روزهای مختلف رسانیدن (۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز) بر خواص شیمیایی (ماده خشک، نمک و چربی) و درصد اسیدهای چرب ($C_{4:0}$-$C_{18:3}$) استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SAS و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار Office Excel 2007 استفاده گردید.

نتایج و بحث

خواص فیزیکوشیمیایی

در شکل ۲، تغییرات pH، نمک، ماده خشک و چربی در نمونه‌های مختلف پنیر طی روزهای رسانیدن (۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ روز) نشان داده شده است. با افزایش زمان رسانیدن، میزان ماده خشک و چربی کاهش یافت در حالی که تغییرات pH و نمک معنی‌دار نبودند. pH پنیر ۳ روزه با پنیر ۶۰ روزه از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت. چنین pHای برای حفظ کیفیت و نگهداری پنیر فتا ضروری است (Anifantakis, 1991). با افزایش زمان رسانیدن، در اثر تجزیه چربی به اسیدهای چرب و در نهایت ترکیبات معطّر، میزان چربی و ماده خشک کاهش یافت. میزان چربی، نمک، ماده خشک و pH نمونه‌های پنیر متناسب با خواص لازم برای پنیر فتای درجه یک بود (Codex Alimentarius, 2003).

پروفیل اسیدهای چرب

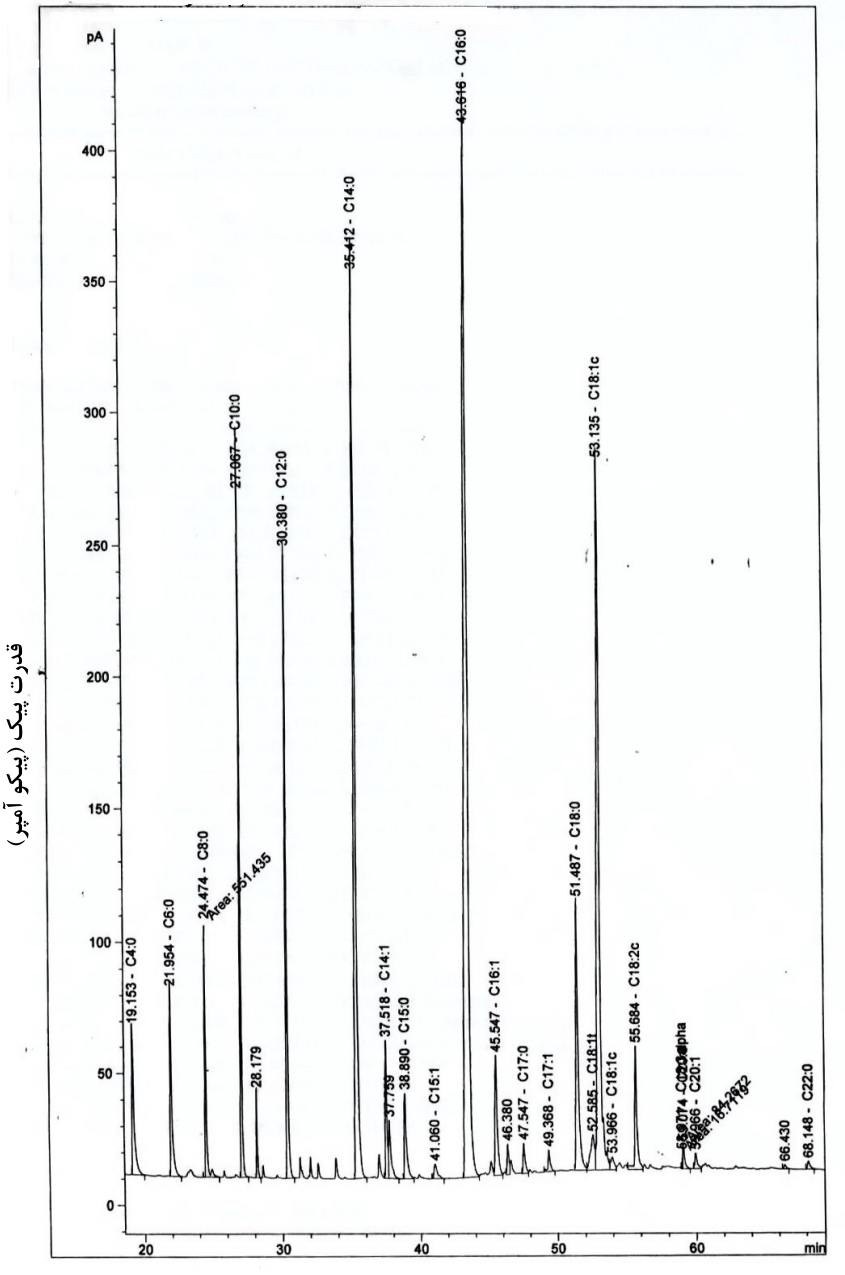
درصد اسیدهای چرب پنیر UF فتا به صورت اسید بوتیریک، کاپروئیک، کاپریلیک، کاپریک، لوریک، مریسیتیک، پالمیتیک، استئاریک، اولئیک، لینولئیک و لینولنیک طی دوران رسانیدن در جدول ۱ آمده است. اسیدهای چرب زنجیر کوتاه و متوسط و با تعداد کربن زوج ($C_{4:0}$-$C_{12:0}$) به طور قابل توجهی دارای آستانه حسّی پایینی بوده و هر کدام عطر و طعم بخصوصی دارند: اسید بوتانوئیک در طعم تندی[7] و پنیری[8] دخالت دارد، اسید هگزانوئیک دارای طعم سوزاننده[9] و با طعم پنیر رگه آبی[10] احساس می‌شود. اسید اکتانوئیک دارای طعم مومی[11]، صابونی[12]، بُزی[13]، کپک زدگی[14]، تندی و میوه ای[15] است. اسیدهای چرب آزاد بسته به غلظت و آستانه حسی می‌توانند به

1 . Flame ionization detector
2 . Split ratio
3 . Sputter-coater
4 . Blazers, type SCD 005, Baltec. Inc., Switzerland
5 . Scanning electron microscopy
6 . XL series, model XL30, Philips, Netherlands

7 . Rancid
8 . Cheesy
9 . Pungent
10 . Blue cheese
11 . Waxy
12 . Soapy
13 . Goat
14 . Musty
15 . Fruity

طور مثبت یا منفی در عطر و طعم پنیر دخیل باشند. اطلاعات مربوط به نقش اسیدهای چرب آزاد در عطر و طعم پنیر بسیار گسترده و گاهی اوقات متناقض‌اند (Collins et al., 2003a).

اسیدهای چرب زنجیر کوتاه نقش مهمی در توسعه طعم پنیر فتا دارند. درصد این دسته از اسیدهای چرب ($C_{4:0}$-$C_{8:0}$) به طور معنا داری طی ۲۰-۳ روز رسانیدن از ۲۰/۳۴ تا ۸/۶۰ کاهش یافت. این پدیده ناشی از تجزیه اسیدهای چرب زنجیر کوتاه و تبدیل آنها به ترکیبات عطری و طعمی مانند گاما و دلتا لاکتون‌ها، الکل ها، متیل‌کتون و ... است. در روشی که در این تحقیق برای استخراج استفاده شد، کل اسیدهای چرب، هم آزاد و هم غیرآزاد، با استفاده از دی اتیل اتر استخراج شدند. بنابراین، درصد اسیدهای چرب در این تحقیق به طور مستقیم مربوط به میزان اسیدهای چرب باقیمانده و نشانگر نرخ تخریب چربی خواهد بود.



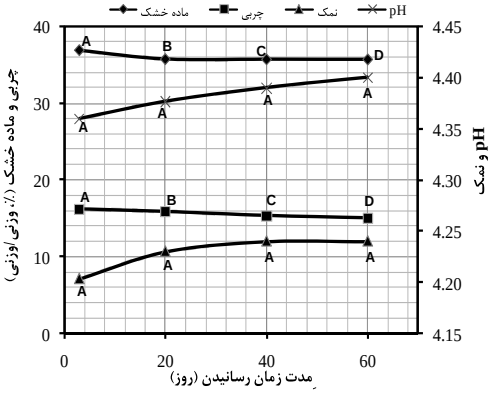
شکل ۱- نمونه ای از کروماتوگرام اسیدهای چرب پنیر UF فتا با استفاده از روش گازکروماتوگرافی

جدول ۱- تغییر اسیدهای چرب پنیر UF فتا در زمان‌های متفاوت رسانیدن× (وزنی/وزنی) (میانگین سه تکرار)

اسید چرب	دوران رسانیدن (روز)			
	۳	۲۰	۴۰	۶۰
$C_{4:0}$	۸/۴۷ a	۲/۳۶ b	۱/۳۹ c	۱/۳۸ c
$C_{6:0}$	۶/۹۶ a	۳/۵۱ b	۱/۸۶ c	۱/۶۸ c
$C_{8:0}$	۴/۹۰ a	۲/۷۳ b	۱/۸۲ c	۱/۵۱ c
$C_{10:0}$	۷/۷۷ a	۶/۰۸ b	۵/۷۵ b	۳/۶۱ c
$C_{12:0}$	۶/۸۴ a	۶/۵۸ a	۶/۷۶ a	۴/۱۸ b
$C_{14:0}$	۱۵/۳۷ a	۱۵/۱۶ a	۱۵/۲۲ a	۱۲/۵۰ b
$C_{16:0}$	۲۲/۸۴ d	۳۰/۹۸ b	۲۹/۹۲ c	۳۴/۸۸ a
$C_{18:0}$	۴/۴۴ c	۵/۰۲ b	۵/۰۹ b	۷/۹۵ a
$C_{18:1}(cis)$	۱۳/۲۶ d	۱۵/۳۴ c	۱۶/۴۷ b	۲۰/۳۹ a
$C_{18:2}(cis)$	۱/۹۹ c	۲/۱۸ b	۲/۳۳ ab	۲/۴۶ a
$C_{18:3}$	۰/۴۰ ab	۰/۳۸ b	۰/۳۷ b	۰/۴۷ a
SFA[۱]	۷۹/۵۶ a	۷۳/۹۴ b	۷۱/۱۸ c	۶۹/۸۹ c
MUFA[۲]	۱۸/۶۵ d	۲۱/۷۶ c	۲۳/۰۸ b	۲۶/۹۲ a
PUFA[۳]	۲/۴۰ c	۲/۵۶ bc	۲/۷۰ b	۲/۹۲ a

۱- اسید چرب اشباع ، ۲- اسید چرب تک غیر اشباعی ، ۳- اسید چرب چند غیر اشباعی

* در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵٪ با هم ندارند.



شکل ۲- تغییرات خواص فیزیکوشیمیایی پنیر UF فتا در دوران رسانیدن (در هر سری، حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار است (P<۰/۰۵)

اسید بوتیریک، یکی از ترکیبات اصلی مؤثر در عطر و بو و طعم تند سوزاننده پنیر فتا است. با افزایش زمان رسانیدن از ۳ تا ۶۰ روز، درصد اسید بوتیریک از ۸/۴۷ تا ۱/۳۸ کاهش یافت. این کاهش نشان می دهد که میزان تخریب اسید بوتیریک بسیار بالا بوده است و این نتیجه با نتایج به دست آمده از گروه حسّی کاملاً تطابق داشت. درصد بالای اسید بوتیریک (۱۹-۱۱٪ از کل اسیدهای چرب آزاد) نشان دهنده لیپولیز انتخابی در پنیر است (Alizadeh et al., 2006). درصد اسید بوتیریک یافت شده در این تحقیق، به طور قابل توجهی بیش از مقداری بود که قبلاً برای پنیر فتای صنعتی گزارش شده بود (Katsiari et al., 2000; Kondyli et al., 2002). درصد اسید کاپروئیک ($C_{6:0}$) پس از ۳ روز رسانیدن، به میزان معناداری بیش از روزهای ۲۰، ۴۰ و ۶۰ بود. به بیان دیگر، میزان تجزیه $C_{6:0}$ با افزایش زمان رسانیدن افزایش می‌یابد. در روز سوم، درصد این اسید از ٪۶/۹۶ و در روز ۶۰ برابر ٪۱/۶۸ از کل اسیدهای چرب بود. نتایج مشابهی برای نمونه‌های پنیر فتای تند شده که از بازار آتن جمع آوری شده بود، گزارش شد (Georgala et al., 1999). ولی مقادیر اسیدکاپروئیک کمتری برای پنیر فتای صنعتی رسیده گزارش شده است (Katsiari et al., 2000; Kandarakis et al., 2001; Kondyli et al., 2002).

درصد اسید کاپریلیک ($C_{8:0}$) در دوران رسانیدن به طور قابل توجهی متفاوت بود ($P<0.05$). در روز ۳، مقدار آن٪۴/۹ و در روز ۶۰، برابر ٪۱/۵۱ از کل اسیدهای چرب بود. مقادیر کمتری از این اسید برای پنیر فتای صنعتی گزارش شده است (Katsiari et al., 2000; Kandarakis et al., 2001; Kondyli et al., 2002).

درصد اسید کاپریک ($C_{10:0}$) در دوران رسانیدن به طور معناداری متفاوت بود (P<۰/۰۵). در روز سوم، مقدار آن ٪۷/۷۷ و در روز شصتم،٪۳/۶۱ از کل اسیدهای چرب بود. آنزیم لیپاز نسبت زیادی $C_{10:0}$ از چربی شیر آزاد می‌کند و قسمت زیادی از $C_{4:0}$-$C_{10:0}$ آزاد شده توسط آن (بیش از٪۶۶) مربوط به $C_{4:0}$ و $C_{10:0}$ است (Calandrelli et al., 1997). مشابه این نتایج، در پنیرهایی که از مایه پنیر ناخالص استفاده شده بود (به استثنای پنیرهای آب نمکی)، اسید کاپریک نسبت به اسیدهای چرب

دیگر، به مقدار قابل توجهی بالاتر بود. درصد اسید کاپریک در روزهای ۳، ۲۰، ۴۰ و ۶۰ نسبت به $C_{6:0}$ و $C_{8:0}$ بالاتر بود (Calandrelli et al., 1997; Larrayoz et al., 1999).

از آنجا که بیشتر لیپاز طبیعی شیر در اثر فرآیند پاستوریزه کردن غیرفعال شده و طی فرآیند تولید، آنزیم لیپاز دیگری اضافه نمی‌شود، میزان تجزیه اسیدهای چرب مشاهده شده می‌تواند به عنوان شاخصی از فعالیت لیپولیتیکی ریز زنده‌های آغازگر یا لیپاز مقاوم به حرارت باکتری‌های سرماگرا، مانند سودوموناس‌ها[1]، باشد. فرآیند تجزیه چربی مشاهده شده، می‌تواند مربوط به آنزیم‌هایی با منشأ میکروبی، مانند استرازهای باکتری‌های اسید لاکتیک [2](LAB) باشد. این آنزیم‌ها درون سلولی بوده و تنها با اتولیز شدن سلول‌ها آزاد می‌شوند. رابطه مستقیمی بین یک گونه استارتر اتولیز شونده و تولید اسید چرب در پنیر چدار گزارش شده است (Collins et al., 2003b). علاوه بر این، باکتری‌های اسید لاکتیک غیر آغازگر[3](NSLAB) استرازهایی تولید می‌کنند که به طور اختصاصی در آزاد سازی اسیدهای چرب کوتاه زنجیر دخالت می‌کنند (Shakeel-Ur-Rehman et al., 2000). از آن جا که تخریب اسید چرب بیشتر مربوط به اسیدهای چرب کوتاه زنجیر بوده است، ممکن است این پدیده مربوط به فعالیت استرولیتیک باکتری‌های NSLAB باشند، اما بایستی این نکته را مورد توجه قرار داد که این باکتری‌ها در شیر خام موجودند ولی در پنیر حاصله از شیر پاستوریزه کمتر دیده می‌شوند. مشخص گردیده است که LAB می‌توانند استرازهایی تولید کنند که باعث آزاد شدن اسیدهای چرب می‌شود (Crow et al., 1994; Collins et al., 2003a, Meyers et al., 1996). این آنزیم‌ها دارای عمل اختصاصی بر روی منو و دی‌گلیسریدهایی هستند که در مراحل اولیه پنیرسازی توسط LPL یا آنزیم‌های چربی شکن دیگر تولید می‌شوند (Fernandez et al., 2000). منو و دی گلیسریدها در شیر و پنیر در مقادیر کم یافت شده‌اند (Mariani et al., 1990; Walstra et al., 1999). به نظر می‌رسد که لیپاز و استراز باکتری‌های اسیدلاکتیک، ترکیبات چربی شکن اصلی در پنیرهای چدار و هلندی ساخته شده از شیر پاستوریزه‌اند (Fox et al., 2000).

در مورد اسیدلوریک ($C_{12:0}$)، طی روزهای ۳ تا ۴۰ رسانیدن، تغییر معناداری مشاهده نشد اما مقدار آن به طور قابل توجهی از ۶/۷۶٪ در روز ۴۰ به۴/۱۸٪ در روز ۶۰ کاهش یافت. تغییر در درصد اسید مریسیتیک ($C_{14:0}$) طی رسانیدن شبیه به اسیدلوریک بود. درصد اسید مریسیتیک تا روز ۴۰ بالا بوده و پس از آن در ۲۰ روز بعدی، از۱۵/۲۲٪ به ۱۲/۵۰٪ کاهش یافت. در تحقیقات قبلی، تنها ۲/۹٪ اسید مریسیتیک پس از ۱۲۰ روز رسانیدن پنیر فتای سنتی گزارش شد (Georgala et al., 2005).

مقدار اسیدهای چرب زنجیر بلند، بالاتر از مقادیر اسیدهای چرب زنجیر متوسط کاپریک و لوریک بود. اسیدهای چرب زنجیر بلند در پنیر ۳ روزه، ۲۲/۸٪ پالمیتیک ($C_{16:0}$)،۴۴/۴٪ استئاریک ($C_{18:0}$)، ۲۶/۱۳٪ اولئیک ($C_{18:1}$)، ۹۹/۱٪ لینولئیک ($C_{18:2}$) و۰/۴٪ اسید لینولنیک ($C_{18:3}$) به دست آمد. در پنیر ۲۰ روزه، این مقادیر به ترتیب برابر ۳۰/۹۸، ۵/۰۲، ۱۵/۳۴، ۲/۱۸ و ۰/۳۸ درصد، در پنیر ۴۰ روزه به ترتیب ۲۹/۹۲، ۵/۰۹، ۱۶/۴۷، ۲/۳۳ و ۰/۳۷ درصد و در پنیر ۶۰ روزه به ترتیب ۳۴/۸۸، ۷/۹۵، ۲۰/۳۹، ۲/۴۶ و ۰/۴۷ درصد بودند. در پنیر فتای صنعتی، اسیدهای پالمیتیک و استئاریک از مهمترین اسیدهای چرب گزارش شده بودند (Alichanidis et al., 1984; Vafopoulou et al., 1989). همچنین، در تحقیق دیگری ثابت شد که این گروه از اسیدهای چرب طی رسیدن پنیر در تِلِم[4]، بیشترین میزان اسیدهای چرب را تشکیل می‌دهند (Mallatou et al., 2003).

درصد کل اسیدهای چرب اشباع [5](SFA) طی رسانیدن به دلیل سرعت کم تجزیه اسیدهای چرب زنجیر بلند $C_{14:0}$، $C_{16:0}$، $C_{18:0}$، $C_{18:1}$ و $C_{18:2}$ افزایش یافت. از طرف دیگر به خودی خود، با افزایش سرعت تجزیه اسیدهای چرب زنجیر کوتاه و کاهش آنها، درصد اسیدهای چرب اشباع بالا خواهد رفت. به نظر می‌رسد که اسیدهای چرب زنجیر بلند ($C_{12:0}$ و بالاتر) به خاطر آستانه حسی بالای آنها، نقش کمی در عطر و طعم پنیر دارند (Molimard & Spinnler, 1996).

درصد اسیدهای چرب تک غیر اشباعی [6](MUFA) و چند غیر اشباعی [7](PUFA) ، به همین صورت طی زمان رسانیدن افزایش می‌یابد. درصد MUFA (اساساً $C_{18:1}$) از ۱۸/۶۵٪ در روز سوم تا ۲۶/۹۲٪ در روز شصتم و درصد PUFA از ۲/۴۰٪ تا ۲/۹۲٪ در همین فاصله زمانی افزایش یافت.

ریز ساختار

شکل‌های ۶-۳، تغییرات اندازه و شکل گلبول‌های چربی را در خلال رسانیدن پنیر UF فتا نشان می دهند. با افزایش مدت

1. *Pseudomonas*
2 . Lactic acid bacteria
3 . Non starter lactic acid bacteria
4 . Teleme
5 . Saturated fatty acids
6 . Mono unsaturated fatty acids
7 . Poly unsaturated fatty acids

زمان رسانیدن، اندازه گلبول چربی کوچکتر شده و در نهایت در اثر تجزیه کاملاً ناپدید شده و یا حفراتی ناشی از شکستن چربی و بدون دیواره غشاء گلبول چربی دیده می‌شوند که در نهایت با شبکه کازئینی پر می‌شوند. نتایج مشابهی از رفتار گلبول چربی در پنیر امنتال[1] با استفاده از تکنیک عکسبرداری CLSM [2] گزارش شد، به طوری که عکس‌های به دست آمده از گلبول چربی و حفرات چربی آزاد دقیقاً مشابه عکس‌های SEM به دست آمده در این تحقیق بودند (Lopez et al., 2007).

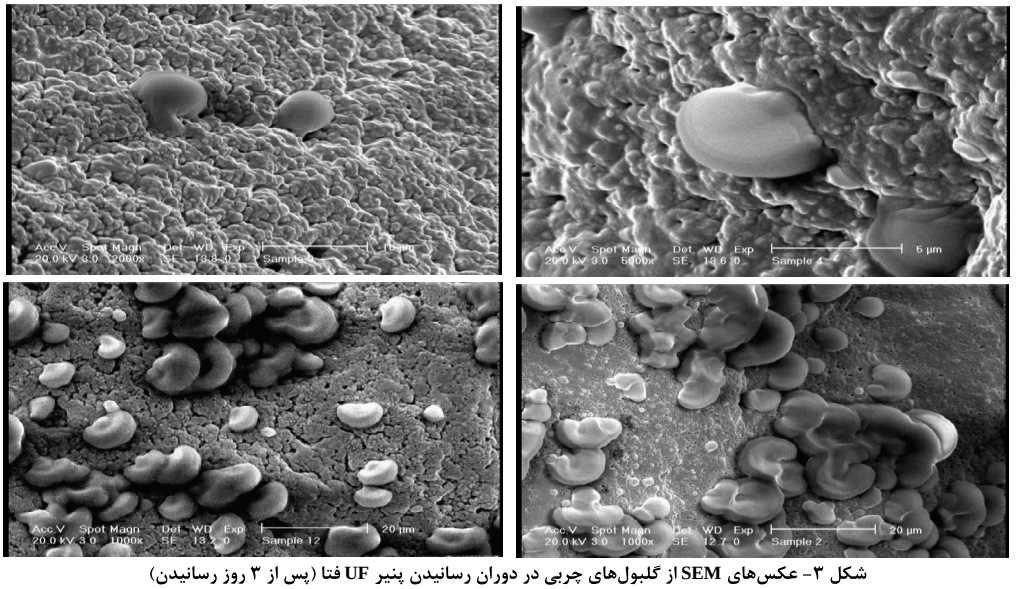
در روز سوم می‌توان به آسانی گلبول‌های چربی را دید که قطری در حدود m µ5 دارند. پس از ۲۰ روز رسانیدن، گلبول چربی دست نخورده ای دیده نمی‌شود بلکه حفره‌هایی در بافت پنیر دیده می‌شوند که نشانگر تجزیه گلبول‌های چربی و از بین رفتن غشاء گلبول چربی طی رسیدن پنیر است. در روز ۴۰ و ۶۰ بافت یکنواخت و یکدست بوده، هیچ حفره یا گلبول چربی‌ای دیده نمی‌شود. از لحاظ میکروسکوپی، بافت پنیر ۳ روزه با پنیر ۶۰ روزه، کاملاً متفاوت است. با آغاز واکنش‌های رسیدن پنیر، مقداری از سرم شیر که دور گلبول‌های چربی را گرفته‌اند ناپدید شده و منجر به افزایش کشش سطحی و ایجاد فعل و انفعالاتی بین گلبول‌های چربی و شبکه کازئینی می‌شوند. عکس‌های SEM نشان داد که چربی به چند شکل در بافت این نوع پنیر وجود دارد: (الف)- گلبول‌های مجزای چربی در ماتریکس پروتئینی، (ب)- توده‌هایی از گلبول‌های چربی و (ج)- احتمالاً چربی بدون دیواره ناشی از شکستن چربی محصور در داخل گلبول‌ها. طی رسانیدن به نظر می رسد که شبکه کازئینی صاف و فشرده می‌شود (شکل‌های ۶ و ۷). شبکه کازئینی توده‌های چربی را از هم جدا کرده و باعث جلوگیری از به هم پیوستگی گلبول‌های چربی می‌شود (Lopez et al., 2007).

با این حال، نمی‌توان این تغییرات را در سطح میکروسکوپی، کمّی کرد. ممکن است گلبول‌های چربی در اثر هیدرولیز آنزیمی غشاء گلبول چربـــی شیـــر (MFGM)[3] یا آرایش مجدد پروتئین در اثر پروتئولیز، شکسته و خرد شوند و حفره‌هایی ناشی از شکستن چربی ایجاد شود. دمای رسانیدن نیز می‌تواند در بی‌ثبات کردن گلبول‌های چربی در ماتریس پروتئین طی رسانیدن مؤثر باشد، بدین روش که با افزایش چربی به حالت جامد، غشای گلبول چربی شیر صدمه می‌بیند و چربی به بیرون از گلبول نفوذ می‌کند (Lopez et al., 2007).

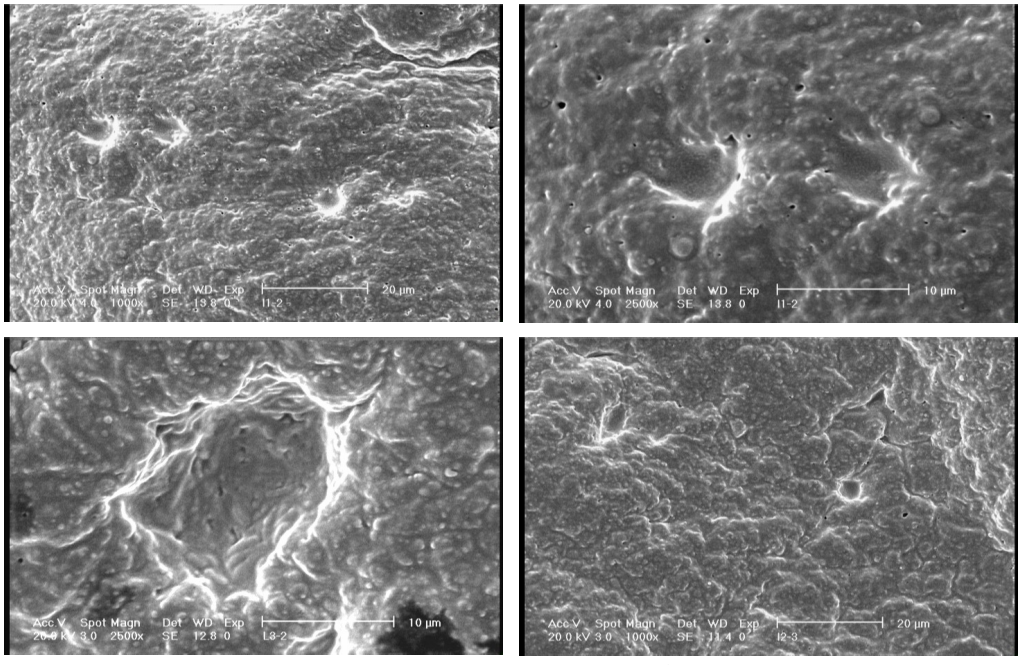
خواص حسّی

میانگین امتیازات خواص ظاهری، عطر و طعم، بافت و طعم تندی پنیر UF فتا در جدول۲ ارائه شده است. زمان‌های متفاوت رسانیدن اثر معناداری بر خواص ظاهری و طعم تندی پنیر فتا نداشتند. پس از ۲۰ روز رسانیدن، امتیاز بافت، عطر و طعم و پذیرش کلی به طور معناداری افزایش می‌یابد ($P<0/05$). همانطور که در تصاویر SEM نیز مشاهده شد با افزایش زمان رسانیدن، پس از ۲۰ روز، بافت پنیر یکنواخت و همگن شده و به نظر می‌رسد که از دیدگاه مصرف‌کنندگان ایرانی، چنین بافتی قابل پذیرش‌تر است. با تجزیه اسیدهای چرب آزاد کوتاه زنجیر طی زمان رسانیدن، ترکیبات طعم‌دار آزاد شده و این طعم از نظر مصرف‌کنندگان بهتر بوده است. به نظر می‌رسد که با افزایش زمان رسانیدن و با پیشرفت لیپولیز، عطر و طعم پنیر بهتر شده باشد.

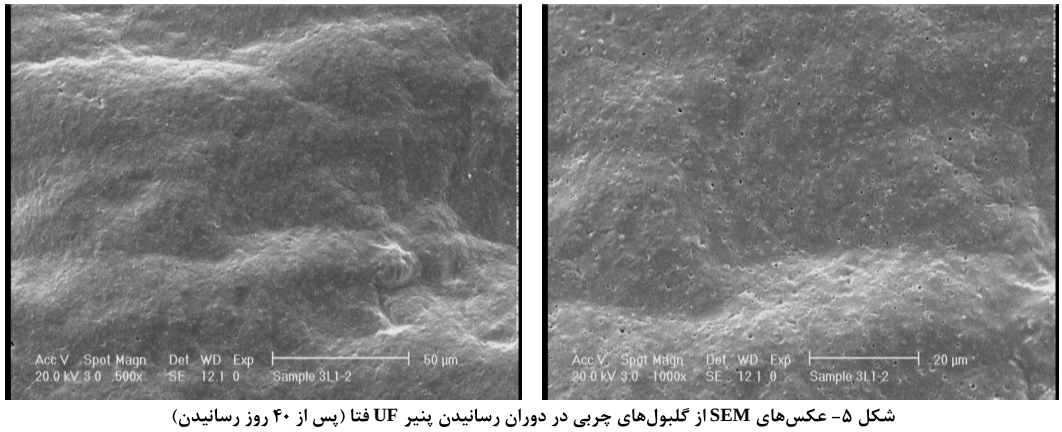
1 . Emmental
2. Confocal laser scanning microscopy
3 . Milk fat globule membrane



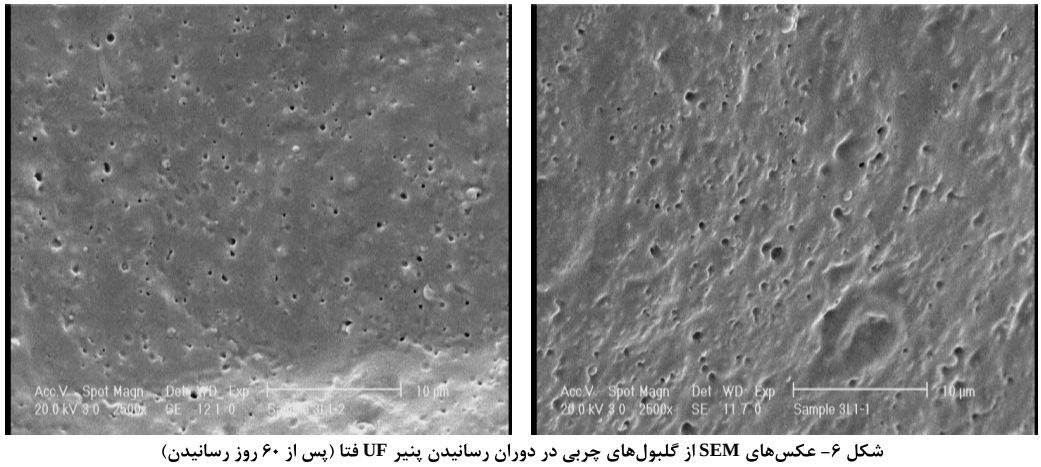
شکل ۳- عکس‌های SEM از گلبول‌های چربی در دوران رسانیدن پنیر UF فتا (پس از ۳ روز رسانیدن)



شکل ۴- عکس‌های SEM از گلبول‌های چربی در دوران رسانیدن پنیر UF فتا (پس از ۲۰ روز رسانیدن)



شکل ۵- عکس‌های SEM از گلبول‌های چربی در دوران رسانیدن پنیر UF فتا (پس از ۴۰ روز رسانیدن)



شکل ۶- عکس‌های SEM از گلبول‌های چربی در دوران رسانیدن پنیر UF فتا (پس از ۶۰ روز رسانیدن)

جدول ۲- خواص حسّی پنیر UF فتا در دوران رسیدن*

خاصیت حسّی	دوران رسانیدن (روز)			
	۳	۲۰	۴۰	۶۰
خواص ظاهری (۱۵- ۰)	۱۴a	۱۴a	۱۴/۵a	۱۴/۵a
بافت (۳۰- ۰)	۲۶a	۲۷b	۲۷/۳b	۲۷/۲b
طعم (۵۰- ۰)	۴۵a	۴۷b	۴۷/۵b	۴۷/۲b
طعم تندی (۵- ۰)	۲a	۳a	۳a	۳a
پذیرش کلی (۱۰۰- ۰)	۸۷a	۹۱ b	۹۱b	۹۱/۹b

× در هر ردیف، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که لیپولیز قابل توجهی در مراحل اولیه رسانیدن پنیر UF فتا انجام می‌شود و باکتری‌های آغازگر نسبت به LPL شیر نقش اصلی را در لیپولیز این پنیر دارند. طی زمان رسانیدن، آزاد سازی ترکیبات طعم دار از چربی افزایش یافته و در نتیجه آن، خواص حسّی این پنیر بهبود می‌یابد. عکس‌های SEM نشان داد که طی رسانیدن، در آرایش چربی تغییرات اساسی رخ می‌دهد. با توجه به زمان طولانی مورد نیاز برای رسانیدن، به نظر می‌رسد که استفاده از برخی روش‌ها مانند افزودن آنزیم (لیپاز) می‌تواند این مرحله را تسریع کرده و باعث بهبود فرآیند شود.

سپاسگزاری

این تحقیق به عنوان بخشی از پروژه "بررسی لیپولیز در پنیر UF فتای ایرانی" تعریف و انجام شده و پشتیبانی مالی آن به عهده شرکت سهامی صنایع شیر ایران (پگاه)، معاونت پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و همچنین معاونت پژوهشی دانشگاه تهران بوده است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از کارخانه شیر پاستوریزه پگاه همدان به خاطر فراهم نمودن مواد مورد نیاز، تجهیزات آزمایشگاهی و حمایت‌های مالی تشکر نمایند.

REFERENCES

Abd El-Salam, M. H., Alichanidis, E. & Zerifidis, G. K. (1993). Domiati and Feta type cheeses. In P. F. Fox (Ed) (2nd ed.) (Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (Vol. 2) (pp. 301-335). London: Chapman & Hall.

Akin, N., Aydemir, S., Kocak, C. & Yildiz, M. A. (2003). Changes of free fatty acid contents and sensory properties of white picked cheese during ripening. *Food Chemistry*, 80, 77-83.

Alichanidis, E., Anifantakis, E. m., Polychroniadou, A. & Nanou, m. (1984). Suitability of some microbial coagulants for Feta cheese manufacture. *Journal of Dairy Research*, 51, 141-147.

Alizadeh, M., Hamedi, M. & Khosroshahi, A. (2006). Modeling of proteolysis and lipolysis in Iranian white brine cheese. *Food Chemistry*, 97, 294-301.

Anifantakis, E. (1991). Traditional Feta cheese. In R. K. Robinson & A. Y. Tamime (Eds.), Feta and Related Cheeses (pp. 49-69). England: Ellis Horwood Ltd.

Battistotti, C. & Corradini, C. (1993). Italian cheeses. In P. F. Fox (Ed.) (2nd ed.) Cheese: Chemistry, physics and microbiology (Vol. 2) (pp. 221-243). London: Chapman & Hall.

BSI. (1995). Gerber method for the determination of fat in milk and milk products. British Standard 696, British Standards Institution, London.

Calandrelli, M., Rubino, R., Masoero, G., Clementi, E., Marone, G. & Pizzillo, M. (1997). Effect of kid rennet production technology on its microbiological characteristics and on the chemical composition of Semicotto goat cheese. *Scienza e Tehnica Lattierio Casearie*, 48, 343-360.

Codex Alimentarius. (2003). Official Journal of Hellenic Republic (Vol. B, Article 83). Athens: National Printing Office.

Collins, Y. F., McSweeney, P. L. H. & Wilkinson, M. G. (2003a). Lipolysis and free fatty acid catabolism in cheese: a review of current knowledge. *International Dairy Journal*, 13, 841-866.

Collins, Y. F., McSweeney, P. L. H. & Wilkinson, M. G. (2003b). Evidence of a relationship between autolysis of starter bacteria and lipolysis in Cheddar cheese during ripening. *Journal of Dairy Research*, 70(1), 105–113.

Crow, V. L., Holland, R., Pritchard, G. G. & Coolbear, T. (1994). The Diversity of potential cheese ripening characteristics of lactic acid starter bacteria: 2.The levels and subcellular distributions of peptidase and esterase activities. *International Dairy Journal*, 4, 723–742.

Drake, M. A., Herrett, W., Boylston, T. D. & Swanson, B. G. (1996). Lecithin improves texture of reduced fat cheeses. *Journal of Food Science*, 61, 639–642

Driessen, F. M. (1989). Heat-induced changes in milk: Inactivation of lipases and proteinases (indigenous and bacterial). *Bulletin of International Dairy Federation*, 238, 71-90.

Efthymiou, C. (1967). Major free fatty acids of Feta cheese, *Journal of Dairy Science*, 50, 20-24.

Fernandez, L., Beerthuyzen, M. M., Brown, J., Siezen, R. J., Coolbear, T., Holland, R. & Kuipers, O. P. (2000). Cloning, characterization, controlled over expression, and inactivation of the major tributyrin esterase gene of Lactococcus lactis. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 1360–1368.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. & McSweeney, P. L. H. (2000). Fundamentals of cheese science. Gaithersburg, MD: Aspen Publishers Inc.

Fox, P. F., Law, J., McSweeney, P. L. H. & Wallace, J. (1993). Biochemistry of cheese ripening. In P. F. Fox (Ed.) (2nd ed.) Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (Vol. 1) (pp. 389-439).

London: Chapman & Hall.

Georgala, A. K., Kandarakis, I. G., Kaminarides, S. E. & Anifntakis, E. M. (1999). Volatile free fatty acid content of Feta and white brined cheeses. *Australian Journal of Dairy Technology*, 54, 5-8

Georgala, A., Moschopoulou, E., Aktypis, A., Massouras, T., Zoidou, E., Kandarakis, I., et al. (2005). Evolution of lipolysis during the ripening of traditional Feta cheese. *Food Chemistry*, 93, 73-80.

Gripon, J. C. (1993). Mould ripened cheeses. In P. F. Fox (Ed.) (2nd ed.) Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (Vol. 2) (pp. 111-136). London: Chapman & Hall.

Ha, J. k. & Lindsay, R. C. (1993). Release of volatile branched-chain and other fatty acids from ruminant milk fats by various lipases. *Journal of Dairy Science*, 76, 677-690.

Horwood, J. F., Lloyd, G. T. & Stark, W. (1981). Some flavour components of Feta cheese. *Australian Journal of Dairy Technology*, 36, 34-37.

Kandarakis, I., Moatsou, G., Georgala, A. I. K., Kaminarides, S. & Anifantakis, E. (2001). Effect of draining temperature on the biochemical characteristics of Feta cheese. *Food Chemistry*, 72, 369-378.

Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Alichanidis, E. & Roussis, I. G. (2000). Lipolysis in reduced sodium Feta cheese made by partial substitution of NaCl by KCl. *International Dairy Journal*, 10, 369-373.

Kirk, R. S. & Sawyer, R. (1991). Pearson's composition and analysis of foods (9th ed.). London: Longman Science and Technical.

Kondyli, E., Katsiari, M. C., Massouras, T. & Voutsinas, L. P. (2002). Free fatty acids and volatile compound of low-fat Feta-type cheese made with a commercial adjunct culture, *Food Chemistry*, 79, 199-205.

Larrayoz, P., Martinez, M. T., Barron, L. J. R., Torre, P. & Barcina, Y. (1999). The evolution of free fatty acids during the ripening of Idiazabal cheese: influence of rennet type. *European Food Research Technology*, 210, 9-12.

Lopez, C., Camier, B. & Gassi, G. Y. (2007). Development of milk fat microstructure during the manufacture and ripening of Emmental cheese observed by confocal laser scanning microscopy, *International Dairy Journal*, 17, 235-247.

Mallatou, H., Pappa, E. & Massouras, T. (2003). Changes in free fatty acids during ripening of Teleme cheese made with ewes', goats', cows' or mixture of ewes' and goats' milk. *International Dairy Journal*, 13, 211-219.

Mariani, C., Contarini, G., Zucchetti, S. & Toppino, P. M. (1990). Significance of minor components of milk fat. *Journal of High Resolution Chromatography*, 13, 356–360.

McSweeney, P. L. H. & Sousa, M. J. (2000). Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheese during ripening. A review. *Lait*. 80, 293-324.

Meyers, S. A., Cuppett, S. L. & Hutkins, R. W. (1996). Lipase production by lactic acid bacteria and activity on butter oil. *Food Microbiology*, 13, 383–389.

Molimard, P. & Spinnler, H. E. (1996). Review: Compounds involved in the flavour of surface mould-ripened cheeses: Origins and properties. *Journal of Dairy Science*, 79, 169–184.

Nieuwenhof, F. F. J. & Hup, G. (1971). Gas-chromatographic determination of free fatty acids in cheese. *Netherlands Milk and Dairy Journal*, 25, 175-182.

Rao, D. V. & Renner, E. (1989). Studies on the application of ultrafiltration for the manufacture of Cheddar cheese. 3. Ripening characteristics. *Milchwissenschaft*, 44 (6), 351-354

Reps, A. (1993). Bacterial surface-ripened cheese. In P. F. Fox (Ed.) (2nd ed.) Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (Vol. 2) (pp. 137-172). London: Chapman & Hall.

Shakeel-Ur-Rehman, Banks, J. M., Brechany, E. Y., Muir, D. D., McSweeney, P. L. H. & Fox, P. F. (2000). Influence of ripening temperature on the volatiles profile and flavour of Cheddar cheese made from raw or pasteurized milk. *International Dairy Journal*, 10, 55–65.

Sipahioglu, O., Alvarez, V. B. & Solano-Lopez, C. (1999). Structure, physicochemical and sensory properties of Feta cheese made with tapioca starch and lecithin as fat mimetics. *International Dairy Journal*, 9, 783–789.

Urbach, G. (1993). Relations between cheese flavour and chemical composition. *International Dairy Journal*, 3, 389-422.

Vafopoulou, A., Alichanidis, E. & Zerfiridis, G. (1989). Accelerated ripening of Feta cheese, with heat shocked cultures or microbial proteinases. *Journal of Dairy Research*, 56, 285-296.

Walstra, P., Noomen, A. & Geurts, T. J. (1993). Dutch-type varieties. In P. F. Fox (Ed.) (2nd ed.) Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology (Vol. 2) (pp. 39-82). London: Chapman & Hall.

Woo, A. H. & Lindsay, R. C. (1984).Concentration of major free fatty acids and flavour development in Italian cheese varieties. *Journal of Dairy Science*, 67, 960-968.

Woo, A. H., Kollodge, S. & Lindsay, R. C. (1984). Quantification of major free fatty acids in several cheese varieties. *Journal of Dairy Science*, 67, 874-878.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.