

شیمی لخته - فراورده‌های شیر منعقد شده

کریگ ج. اوبرگ

بخش پروتئینی است که در $pH = 4.6$ و $20^\circ C$ از شیر رسوب می‌کند. سه نوع عمده کازئین وجود دارد: الف) آلفا کازئین که ۵۵ تا ۵۵ درصد کل کازئین را تشکیل می‌دهد. این پروتئین دارای یک مرکز آبدوست است که به وسیله پایانه‌های آبگریزی احاطه شده و به کلسیم فوق‌العاده حساس است. ب) بتا کازئین که ۳۵ تا ۳۵ درصد کل کازئین را تشکیل می‌دهد. این ماده آبگریز است ولی به کلسیم کمتر حساس می‌باشد. ج) کاپا کازئین که فقط ۱۵٪ کل کازئین را تشکیل می‌دهد ولی در پایداری میسل و در انعقاد آنزیمی شیر نقش اساسی دارد. کاپا کازئین دارای یک پایانه گلیکوزیلی شده (مولکولهای قندی که به آمینواسیدها متصل شده‌اند)، بسیار آبدوست است. این کازئین به کلسیم حساس نیست.

کازئینها به صورت ساختارهای کروی کوچکی موسوم به میسل به یکدیگر متصل شده‌اند. میسلهای کازئین دارای قطر متوسط ۵۰ تا ۳۰۰ nm هستند که از گویچه‌های چربی، خیلی کوچکتر است. این میسلها به شیر رنگ سفید می‌دهند، وقتی که آنها را از شیر جدا کنند، شیر دارای رنگ سبز مایل به زرد می‌شود. میسلها به اندازه کافی بزرگ هستند، به طوری که از لحاظ نظری باید ته‌نشین شوند، با این حال در مایع معلق شده باقی می‌مانند؛ آنها همچنین حاوی ۶٪ مواد معدنی هستند که عمدتاً کلسیم و فسفر می‌باشد. این مواد معدنی به پایداری ساختار میسل کمک می‌کنند. برای توجیه ساختار میسل و پایداری آن چندین نظریه وجود دارد. مطابق نظریه اسلانتری^۱ و ایوارد^۲ کازئینها از تجمع واحدهای فرعی کوچکی تشکیل شده‌اند که هر یک مرکب از تقریباً ۳۵ مولکول کازئین می‌باشد. این واحدهای فرعی به وسیله ماهیت آبگریزشان جذب یکدیگر شده و به وسیله مواد معدنی موجود در آنها پایدار شده‌اند. اگر کلسیم را از میسل جدا کنند، میسل به واحدهای فرعی تفکیک می‌شود.

برای گسستن ساختار میسل که موجب انعقاد یا لخته شدن شیر می‌شود روشهای زیرمورد استفاده قرار می‌گیرد: کاهش pH به زیر ۴٫۶ (شیر طبیعی حدود ۶٫۵ است) میسل را ناپایدار می‌کند و منجر می‌شود تا پروتئین رسوب کند. در $pH = 4.6$ به نقطه ایزوالکتریک مولکولهای کازئین می‌رسیم. در نقطه ایزوالکتریک بارخالص مولکولهای کازئین صفر است. این پدیده همراه با هسته‌های معدنی از میسل سبب می‌شود پروتئینها و بنابراین میسل ماهیت

در نوشته‌های شرق که به ۲۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح می‌رسد از پنیر و همچنین دادوستد آن یاد شده است. یونانیان پنیر را به خدایان خود اهدا می‌کردند و رومیان آن را به عنوان غذای مطلوبی مصرف می‌کردند. صلیبیون در قرنهای ۱۱ تا ۱۳ انواع جدید پنیر را از شرق به اروپا بردند. در شرق انواع پنیر غذایی کاملاً شناخته شده بود. از آن موقع به بعد انواع جدید پنیر تولید گردید و این محصول اهمیت فزاینده‌ای یافت.

شیر گاو مایعی است زیست‌شناختی با خصوصیات تقریباً منحصر به فردی که نتیجه نحوه قرار گرفتن مواد جامد معلق در آن می‌باشد. شیر به طور متوسط، حاوی فقط ۸۷٪ آب است. این مقدار آب به اندازه قابل ملاحظه‌ای از آب موجود در کرفس، لوبیای سبز یا کاهو کمتر است. شیر همچنین حاوی ۳٫۵ تا ۳٫۷ درصد چربی است که ۹۸٪ آن تری‌گلیسریدهای سنتز شده در غدد شیری پستان می‌باشند. از لحاظ تاریخی، محتوی چربی شیر مبنای پرداخت قیمت شیر به دامداران بوده است، از این لحاظ، چربی با ارزشترین ترکیب شیر می‌باشد.

چربی در شیر به شکل گویچه‌های کروی به قطر ۱ تا ۲۰ μm معلق است. هر گویچه به وسیله غشایی احاطه شده که حاوی غلظت بالایی از فسفولیپیدهاست. همگن کردن فرایندی است که طی آن گویچه‌های چربی از یک مجموعه سوراخهای خیلی کوچک با فشار زیاد عبور داده می‌شود. گویچه‌ها به قطعات کوچکی گسیخته می‌شوند. مجدداً غشایی به سرعت به دور گویچه‌های کوچکتر تشکیل شده و آنها را پایدار می‌سازد. در حالی که غالباً شیر مایع را همگن می‌کنند، شیری که برای ساخت پنیر به کار می‌رود ندرتاً همگن می‌گردد. لاکتوز (قند شیر) در شیر دارای غلظت ثابت ۴٫۹٪ است. این غلظت برای حفظ تعادل اسمز بین شیر و خون می‌باشد.

محتوی پروتئین شیر تقریباً ۳٫۵٪ (وزنی) است که شامل کازئینها و پروتئینهای سرم (آلفا - لاکتالبومین و بتا - لاکتوگلوبولین)، همراه با مقدار کمی ایمونوگلوبولینهاست. میزان پروتئین بنا بر وقت سال، نوع خوراک دام و دوره شیردهی گاو تغییر می‌کند. آلفا - لاکتالبومین با پروتئین موجود در تخم مرغ موسوم به آلبومین سفیده تشابه بارزی دارد. ترتیب توالی آمینواسید آنها غالباً مشابه است و صورتبندی ساختاری و وزن مولکولی آنها نیز یکی است. همچنین هردو با انواع معینی از مولکولهای قند واکنش می‌دهند. تقریباً ۸۰٪ پروتئین شیر را کازئینها تشکیل می‌دهند. کازئین

1. Slattery 2. Evard

ساختار خودی را از دست بدهد. نتیجه نهایی، انعقاد یا لخته شدن شیر است. این روش در تولید لخته پنیر کاتیج^۱ مرسوم است.

در غالب روشهای ساخت پنیر، شیر را به وسیله رنت^۲ یا آنزیم رنت مانندی منعقد می کنند. رنت آنزیمی است که به طور معمولی در معده گوساله یافت می شود. آن را از معده گوساله ذبح شده استخراج و خالص می کنند. رنت شکل ناخالص آنزیم کیموزین است. این ماده، آنزیم پروتئین شکنی است که مخصوصاً پایانه آبرگیز کاپا کازئین را جدا می کند و در نتیجه دو مولکول حاصل می شود، یکی پاراکازئین و دیگری یک پلی پپتید. هنگامی که سرم شیر از لخته جدا می شود. پلی پپتید همراه آن است؛ این بدان معنی است که وقتی از این روش برای انعقاد شیر استفاده می شود تقریباً ۵٪ کازئین از دست می رود. اگر شیر را به جای استفاده از آنزیم باروش اسیدی منعقد کنند می توان بازده را افزایش داد. حذف این پپتید محافظت کننده، نفوذیونهای کلسیم به داخل میسل و واکنش با آلفا-کازئین حساس به کلسیم را میسر می سازد. سپس پروتئینها ناپایدار شده و شیر منعقد می شود. این واکنش در غیاب کلسیم حتی پس از شکستن آنزیمی کاپا کازئین، روی نمی دهد. آنزیمهای رنت ماننده، پروتئینازهایی هستند که از چند کپک مختلف حاصل می شوند. این آنزیمها در شکستن اتصالات، کمتر اختصاصی هستند و در پنیر می توانند موجب تشکیل پپتیدهای باطعم تلخ بشوند. مع هذا، این آنزیمها به علت ارزانت بودن از رنت واقعی زیاد به کار می روند.

در ساخت پنیر از این روش انعقاد آنزیمی برای متمرکز کردن مواد جامد شیر و بازیابی آنها استفاده می شود. در تولید پنیر چدار، شیر را پاستوری می کنند، اما همگن نمی کنند. اگر گوچه های چربی بسیار کوچک باشند، بازده کم می شود. در این صورت کشت باکتریایی آغاز کننده به مقدار ۲ تا ۷ درصد افزوده می شود. این کشت شامل نژادهایی از باکتریهای استرپتوکوکوس کرمودیس و استرپتوکوکوس لاکتیس گرام- مثبت* و کروی است. این موجودات زنده ذره بینی لاکتوز را به لاکتیک اسید تخمیر می کنند و در اثر عمل پروتئین شکنی آنها بسیاری از ترکیبات که طعمی خاص دارند تولید می شود. این گونه ترکیبات مخصوصاً در پنیر چدار یافت می شوند. سپس، آلفا بیگسین، رنگینه زردی که از گیاه آناتو در آمریکای جنوبی به دست می آید، به پنیر اضافه می کنند. در برخی از کشورها، پنیرهای نوع چدار به رنگ طبیعی شیر، یعنی سفید هستند. در جریان ساخت پنیر وقتی pH کاهش می یابد رنگ آلفا بیگسین به مولکولهای کازئین متصل می شود.

انعقاد آنزیمی شیر به دنبال افزودن رنت صورت می گیرد. شیر، ظرف ۳۰ دقیقه «می بندد»، این زمان برای شکستن کاپا کازئین است. هر چه لخته یا بستر پروتئین سفت تر باشد، مواد جامد بیشتری باقی می ماند و بازده زیاد می شود. بعد لخته را به صورت مکعبهایی با ابعاد ۶ mm می برند. لخته و سرم شیر را در ۳۹°C برای ۹۰ دقیقه می پزند. این عمل حرارت دادن موجب خروج سرم به دام افتاده در بستر کازئین - چربی می شود. در این حال ذرات لخته چروک

1. Cottage 2. Rennet

* گرام مثبت یعنی وقتی باروش گرام (Gram) رنگ شود، رنگی ارغوانی پیدا می کند. هانس گرام پزشکی دانمارکی بود که روش رنگ کردن باکتریها به او منسوب است.

خورده و بافت آنها سفت می شود. میزان رطوبت پنیر تولید شده به طور عمده به دما و زمان چننین پختی بستگی دارد.

سپس طی فرایندی سرم را از لخته جدا می کنند. مایع سرم، حساوی تقریباً ۳٪ مسود جامد است که معرف کمی بیش از ۹۰٪ حجم اولیه شیر موجود در مخزن پنیر است. پروتئینهای سرم که در بستر پروتئین منعقد شده به دام نیفتاده اند، به علاوه اکثر لاکتوز و بعضی از مواد معدنی، مواد جامد سرم شیر را تشکیل می دهند. به طور سنتی، سرم شیر را دور می ریزند یا به عنوان خوراک دام به کار می برند. امروزه غالباً آن را خشک کرده و به خوراکیهایی مانند نان و بستنی می افزایند.

چداری کردن مرحله بعد است. در این مرحله لخته را بادست یا به طور مکانیکی برمی گردانند. چداری کردن سه کار عمده انجام می دهد: نخست، ادامه یافتن خروج سرم. دوم، دادن فرصت به موجودات زنده ذره بینی به دام افتاده در لخته برای تخمیر لاکتوز به لاکتیک اسید که در این صورت pH لخته پایین می آید. فرایند چداری کردن را به وسیله اندازه گیری افت pH در سرم خارج شده یا در لخته موجود کنترل می کنند. سوم، ذرات لخته به هم تنیده می شوند، قوام می یابند و بافت پنیر را به وجود می آورند.

وقتی لخته به pH مطلوب که معمولاً بین ۵٫۲ تا ۵٫۴ است رسید، قطعه های بزرگ لخته چداری شده را آسیاب می کنند. لخته را به صورت مکعبهایی با ابعاد حدود ۲ cm می برند. سپس نمک (سدیم کلرید) را با لخته آسیاب شده به میزان ۲٫۵٪ (وزنی) مخلوط می کنند. نمک از تولید زیاده تر لاکتیک اسید توسط موجودات زنده ذره بینی جلوگیری می کند و به پنیر طعم می دهد. لخته نمک زده شده را در ظروف فلزی بزرگ (که اغلب چلیک نامیده می شود چون زمانی درون چلیک چوبی گذارده می شد) قرار داده و برای ۱۲ ساعت می فشارند. فشردن، آخرین ذرات سرم شیر یا آب پنیر را خارج کرده موجب به هم بافته شدن مکعبهای آسیاب شده می گردد. پیدایش طعم در پنیر چدار مستلزم نگهداری قالبهای پنیر در ۵ تا ۱۰°C است تا «تندی» آن به میزان مطلوبی برسد. چدار ملایم را چند هفته، چدار متوسط را برای ۳ تا ۶ ماه، چدار تند را برای ۶ تا ۹ ماه و چدار خیلی تند را تا یک سال نگه می دارند. طی این مدت نگهداری انواع تغییرات شیمیایی در پنیر صورت می گیرد. pH پنیر در اثر تجزیه پروتئینها و پپتیدها کمی افزایش می یابد. میزان نیتروژن محلول افزایش می یابد و انواع زیادی از آمینو اسیدها و پپتیدها به وسیله عمل آنزیمهای باکتریایی تولید می شوند. این آنزیمها به وسیله باکتریهای آغاز کننده کشت تولید می شوند. آنزیمهای لیپازی که چربیها را تجزیه می کنند نیز فعال هستند. این فعالیت توأم آنزیمها، منجر به نرم شدن پنیر، افزایش شدت طعم و ساخته شدن تیرامین می گردد. تیرامین وقتی تشکیل می شود که آمینو اسید تیروزین، کربوکسیل زدایی شده باشد. مقادیر زیاد تیرامین در پنیر کهنه می تواند برای اشخاصی که به آن حساس هستند مسئله ایجاد کند. خوشبختانه، افراد خیلی کمی به آن حساس هستند. تیرامین سبب انقباض عروق خونی گردیده، به سردرد شدید و گاهی به مسائل جدیتر منجر می شود.

با ایجاد تغییراتی در اساس روش ساخت و استفاده از موجودات زنده ذره بینی مختلف، انواع دیگر پنیر را تهیه می کنند. در ساخت

تلقیح می‌کنند. مدت ۳۰ روز پنیرها را در 12°C و رطوبت نسبی ۹۰٪ می‌رسانند. کپک تمام سطح پنیر را می‌پوشاند و آنزیم‌هایی تولید می‌کند که در پنیر به‌کندی نفوذ می‌کنند و سبب تغییر طعم آن می‌شود. وقتی آنزیمها به مرکز پنیر می‌رسند پنیر آماده مصرف است.

انواع ایتالیایی پنیر در دماهایی بالاتر از پنیر چدار پخته می‌شوند و طعم خاص آنها ناشی از مصرف استرآزهای پیش معده‌ای است. این آنزیمها در پشت زبان بزغاله و بره یافت می‌شود. این آنزیمها چربی را در شیر به انواعی از اسیدهای چرب زنجیر کوتاه تجزیه می‌کنند، از آن جمله بوتیریک اسید، کاپریک اسید و کاپروئیک اسید می‌باشند. پنیر پارمسان^۱ در دمای بالایی پخته می‌شود تا رطوبت از آن خارج گردد و همچنین قبل از رساندن آن را مدت ۷ تا ۱۰ روز خشک می‌کنند. این امر رطوبت موجود آن را به ۳۰٪ تنزل می‌دهد؛ سپس آن را برای یک سال می‌رسانند. از طرف دیگر، پنیر مازارلا^۲ خیلی نرم و پر رطوبت (۴۷٪) است. لخته را نمی‌پزند و آن را به وسیله دست یا ماشین می‌کشند. این کشیدن موجب می‌شود تا مولکولهای پروتئین ردیف شده، به این پنیر کیفیت قابل ارتجاع بدهند.

سطح پنیرها را می‌توان با استفاده از ترکیبی از مخمر و باکتریها رساند. نمونه آن پنیر لیمبرگر^۳ و بریک^۴ است. این پنیرها هردو پنیرهای پر رطوبت هستند که در 21°C و رطوبت نسبی ۹۵٪ رسانده می‌شوند. قشری به ضخامت ۱ mm از باکتریها و مخمر بر سطح پنیر رشد می‌کند. آنزیمهای آنها پروتئین و چربیها را در پنیر تجزیه کرده ترکیبات طعم‌دار ایجاد می‌کنند.

انواع زیاد پنیرها که ما به عنوان بخشی از مواد غذایی خود استفاده می‌کنیم و از آنها لذت می‌بریم همه انواع یک فرایند، یعنی انعقاد پروتئینهای شیر می‌باشند.

ترجمه منوچهر حامدی

• Curdling Chemistry-Coagulated Milk Products
Craig J. Oberg
Journal of Chemical Education, September 1986

1. Parmesan
2. Mozzarella
3. Limburger
4. Brick

پنیر سوئیسی مقداری از چربی را جدا می‌کنند تا میزان کازئین افزایش یابد. شیر این پنیر پاستوری نیست. این تغییرات همراه با افزایش دمای پخت اثر نرم‌کنندگی بر پروتئین دارد و منجر به انعطاف‌پذیری بیشتر در پنیر می‌گردد. این امر تشکیل سوراخهای خوب را در پنیر میسر می‌سازد. علاوه بر مصرف باکتریهای آغاز-کننده کشت مقدار خیلی کمی باکتریهای پروپیونی باکتریم فرند فریچی^۱ از خانواده شوهرانی^۲ را اضافه می‌کنند. طی فرایند رساندن هنگامی که پنیر را مدت ۴ تا هفته در 21°C نگاه می‌دارند، این موجودات زنده گاز کربن دیوکسید تولید می‌کنند که در پنیر به‌دام افتاده «سوراخ» ایجاد می‌کنند. همچنین پروپیونیک اسید تولید می‌شود که طعم «آجیل» به پنیر می‌دهد. قالبهای پنیر را باید هر چند روزی برگرداند تا توزیع «سوراخها» به طور مساوی صورت گیرد. پنیر را پس از رساندن در اتاق گرم چند ماه در دمای مناسبی می‌رسانند.

پنیر آبی رنگ، طعم و رنگهای آبی رنگ خود را از کپک پنسیلیوم داکرودتی^۳ به دست می‌آورد که در زمان رساندن آن را روی پنیر تلقیح می‌کنند.

شیری که برای تولید پنیر آبی رنگ به کار می‌رود اغلب با بنزوئیل پروکسید ۰۰۲٪ رنگبری می‌شود، تا زمینه سفید متضادی برای رگه‌های کپک ایجاد شود. شیر را نیز همگن می‌کنند. پاره شدن گلبولهای چربی موجب می‌شود که لیپازهای کپک (آنزیمهای تجزیه‌کننده چربی) ترکیبات طعم‌دار بیشتری تولید کنند. سوراخهای هوایی ایجاد شده در پنیر نیز موجب می‌شود تا کپک بتواند در سراسر آن رشد کند. pH این پنیر از اکثر پنیرها پایینتر است، در نتیجه برای متابولیسم کپکها به هنگام رشد، لاکتیک اسید کافی تولید می‌شود. این پنیر را برای ۳ ماه در 10°C تا 22°C می‌رسانند. روکفور نوع خاصی از پنیر آبی رنگ است که از شیر گاو ساخته می‌شود و در غارهای طبیعی منطقه روکفور فرانسه رسانده می‌شود.

کاممبر^۴ نوع دیگری از پنیر رسانده شده با کپک است که عمدتاً در اروپا تولید می‌شود و در آنجا به عنوان دسر بسیار رایج است. پس از ساخت قطعات گرد کوچک پنیر با کپک سفید پنسیلیوم کامبرتی^۵

1. *Propionibacterium Freundenereichii*
2. *Shermanii*
3. *Penicillium roquerortii*
4. *Camembert*
5. *Penicillium Camemberti*

مجله شیمی آگهی می‌پذیرد

مجله شیمی در زمینه ارائه خدمات علمی و فنی (تحقیقات، مشاوره، طراحی، نظارت، و اجرا) و عرضه داروها، وسایل آزمایشگاهی، تجهیزات و ماشین آلات صنعتی آگهی می‌پذیرد.