تولید پروتئین آب‌پنیر شیمی، کارایی و کاربردها

مترجمین:

دکتر سجاد پیرسا

امیرافشار اصدق

هوشمند شرفی

ژیار حیدری

انتشارات دانشگاه غیرانتفاعی آفاق

tnbook.ir

فهرست

فصل اول:تاریخچه تولید آب‌پنیر و تولید پروتئین آب‌پنیر ۱

۱.۱ انواع آب‌پنیر ۲

۱.۱.۱ آب‌پنیر شیرین ۳

۲.۱.۱ آب‌پنیر اسیدی ٦

۱.۱ مصارف آب‌پنیر ۷

۱.۲.۱ دانش باستانی ۷

۲.۲.۱ تلاش‌های اولیه صنعتی ۸

۳.۲.۱ پیشرفت کنونی ۸

۳.۱ محصولات تجاری عمده موجود در آب‌پنیر ۹

۱.۳.۱ لاکتوز ۹

۲.۳.۱ پودرآب‌پنیر ۹

۳.۳.۱ کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (WPC) و پروتئین جدا شده پنیر (WPI) ۹

۴.۳.۱ محصولات مشتق شده از پروتئین آب‌پنیر ۱۰

۵.۳.۱ محصولات معدنی شیر ۱۱

۴.۱ خلاصه ۱۱

فصل دوم: فناوری ساخت محصولات پروتئینی آب‌پنیر ۱۳

۲. ۱ فنّاوری بازیافت پروتئین آب‌پنیر ۱٤

۲. ۱. ۱ رسوب دادن باحرارت و اسید ۱٤

۲. ۱. ۲ فنّاوری فیلتراسیون غشائی ۱۷

۲. ۲ اجزاء پروتئین آب‌پنیر ۱۹

۲. ۲. ۱ جداسازی آلفالاکتالبومین(α-LA) و بتالاکتوگلوبولین(β-LG) ۱۹

۲-۲-۲- جداسازی گلیکوماکروپپتید (GMP) ۲٤

۳-۲-۲- فراکسیناسیون BSA آلبومین سرم گاوی و ایمونوگلوبولین ۲۷

۴-۲-۲- فراکسیناسیون لاکتوفرین و لاکتوپراکسیداز ۲۸

۳-۲- فرایند تولید محصولات آب‌پنیر ۳۰

۱-۳-۲- تصفیه، جداسازی و پاستوریزه‌کردن آب‌پنیر مایع ۳۰
۲-۳-۲- فیلتراسیون غشایی ۳۲
۳-۳-۲- دمینرالیزاسیون ۳۳
۴-۳-۲- تغلیظ کردن (کنسانتره کردن) ۳٤
فصل سوم : شیمی پروتئین‌های آب‌پنیر ۳۷
۱-۳ بتالاکتوگلبولین (β-LG) ۳۸
۳.-۱-۱- شیمی بتالاکتوگلبولین ۳۸
۳- ۱-۲- جداسازی و تهیه بتالاکتوگلوبولین ٤۱
۱-۲-۱-۳ اولترافیلتراسیون و کرماتوگرافی با غشا تبادل یونی ٤۲
۲-۲-۱-۳- رسوبگذاری ٤۳
۳-۲-۱-۳-هیدرولیز پپسین ٤۳
۳-۲-۳- ۳.- ویژگیهای بیولوژیکی بتالاکتوگلوبولین ٤٤
۱-۳-۱-۳- فعالیت ضدمیکروبی ٤٤
۲-۳-۱-۳- مهارفعالیت آنزیم تبدیلکننده آنژیوتانسین (ACE) ٤٥
۳-۳-۱-۳- فعالیت آنتی‌اکسیدانی ٤٥
۲-۳- آلفالاکتالبومین ٤٦
۱-۲-۳- شیمی آلفالاکتالبومین ٤۷
۲-۲-۳- جداسازی آلفالاکتالبومین ٤۹
۳-۲-۳- نقشهای آلفالاکتالبومین ٤۹
۴-۳- لاکتوفرین ٥۱
۵-۳- ایمونوگلوبولین ٥٤
۶-۳- پروتئینهای ناچیز ٥٥
۱-۶-۳- فاکتورهای رشد ٥٥
۲-۶-۳- لاکتوپراکسیداز ٥٦
۳-۶-۳- پروتئین‌های غشای گلوبول‌های چربی شیر ٥٦
۴-۶-۳- پروتئین‌های حاوی ویتامین ٥۷

tnbook.ir

۷-۳- خلاصه ۵۸
فصل چهارم : ساختار و دناتوراسیون پروتئین آبپنیر و تعامل آن با سایر اجزای غذایی ۵۹
۱-۴- ساختار و دناتوراسیون پروتئین ۶۰
۱-۱-۴- دناتوراسیون حرارتی ۶۰
۱-۱-۱-۴- تغییرات ناشی از حرارت در ساختار β-لاکتوگلوبولین ۶۰
۲-۱-۱-۴- دناتوراسیون حرارتی پروتئینهای آبپنیر ۶۱
۲-۲-۱-۴- اتصال عرضی پروتئین آبپنیر ۶۳
۴-۱-۴- دناتوراسیون پروتئین با تابش اشعه ۶۵
۲-۴- نقش گروه تیول و پیوندهای دی سولفید درتجمع و انعقادپروتئین آب‌پنیر ۶۷
۱-۲-۴- نقش تیول و پیوندهای دی سولفید درتجمع پروتئین آب‌پنیر ۶۷
۲-۲-۴- نقش گروه تیول و پیوندهای دی سولفید درانعقاد پروتئین آب‌پنیر ۶۸
۳-۴- فعل‌وانفعالات پروتئیناآبپنیرو کازئین ۶۹
۱-۳-۴- فعل‌وانفعالات پروتئین آب‌پنیر وکازئین درسیستم مدل ۷۰
۲-۳-۴- فعل وانفعالات پروتئین آب‌پنیربامیسل کازئین در شیر ۷۱
۴-۴-پروتئین‌های آب‌پنیر و فعل وانفعالات با کربوهیدرات ۷۲
۱-۴-۴- واکنش میلارد بین پروتئین آبپنیر و کربوهیدرات ۷۲
۱-۱-۴-۴- واکنش میلارد در حضور پروتئین آبپنیر و کربوهیدرات توسط حرارت دادن خشک ۷۲
۱-۱-۱-۴-۴- دکستران ۷۳
۲-۱-۱-۴-۴-پکتین ۷۴
۲-۱-۴-۴- واکنش میلارد بین کربوهیدرات و پروتئین آبپنیر باحرارت دادن مرطوب ۷۵
۲-۴-۴- فعل وانفعالات بین پروتئیناآبپنیر و پلی‌ساکاریدها در محلول ۷۶
۱-۲-۴-۴- فعل‌وانفعال بین پروتئین آبپنیر و پلیساکاریدهای خنثی در محلول ۷۷
۴.۴.۲.۱.۱ اینولین ۷۷
۴.۴.۲.۱.۲ نشاسته ۷۸
۴.۴.۲.۲ فعل وانفعالات بین پروتئین آبپنیر و آنیون پلیساکارید در محلول ۷۸
۴.۴.۲.۲.۱ پکتین ۷۹

tnbook.ir

۴.۴.۲.۲.۲ صمغ گزانتان ۸۱
۴.۴.۲.۲.۳ کاراگینان ۸۳
۴. ۵ فعل‌وانفعال پروتئین آب‌پنیر و با سایر اجزاء مواد غذایی ۸۶
۴.۵.۱ ژلاتین ۸۶
۴.۵.۲ لسیتین ۸۸
۴.۶ خلاصه ۹۰
فصل‌پنجم : خواص غذایی پروتئین‌های آب‌پنیر ۹۱
۵. ۱ مشخصات اسیدآمینه: پروتئین آبپنیر در مقابل پروتئین شیر مادر ۹۲
۵.۳ مشتقات پروتئین آبپنیر ۹۴
۵.۴ آلرژی و هضم پروتئین در آبپنیر ۹۵
۵.۵ خواص درمانی اجزای پروتئین آبپنیر ۹۶
۵.۵.۱ دیابت ۹۶
۵.۵.۲ سرطان ۹۸
۵.۵.۳ بیماری کبد ۱۰۰
۵.۵.۴ بیماری قلبی عروقی ۱۰۰
۵.۵.۵ بیماری‌های سیستم ایمنی بدن ۱۰۱
۵.۶ خاصیت آنتیاکسیدانی پروتئین‌های آب‌پنیر ۱۰۲
۵.۶.۱ فعالیت آنتیاکسیدانی کل پروتئین آب‌پنیر ۱۰۳
۵.۶.۲ فعالیت آنتی‌اکسیدانی بخش‌های پروتئین آب‌پنیر ۱۰۵
۵.۶.۲.۱ فعالیت آنتی‌اکسیدانی β-لاکتوگلوبولین ۱۰۵
۵.۶.۲.۲ فعالیت آنتی‌اکسیدانی α-لاکتاآلبومین ۱۰۸
۵.۶.۲.۳ فعالیت آنتی‌اکسیدانی لاکتوفرین ۱۱۰
۵.۶.۲.۴ فعالیت آنتی‌اکسیدانی گلیکوماکروپپتید (GMP) ۱۱۲
۵.۶.۲.۵ فعالیت آنتی‌اکسیدانی آلبومین سرم گاوی ۱۱۳
۵.۶.۳ پپتیدهای آنتی‌اکسیدانی حاصل از پروتئین آب‌پنیر ۱۱۴
۵.۶.۳.۱ فعالیت آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای هیدرولیز ۱۱۵

tnbook.ir

۲.۳.۶.۵ فعالیت آنتی‌اکسیدانی پپتیدهای اصلاح شده‌ی پروتئین آبپنیر ۱۱۸
۴.۶.۵ کاربرد فعالیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین آب‌پنیر درمواد غذایی ۱۱۹
۵.۶.۴.۱ پروتئین آب‌پنیر از اکسیداسیون لیپیدها جلوگیری میکند ۱۱۹
۵.۶.۴.۲ پتانسیل آنتیاکسیدانی پروتئین آبپنیر در برابر پیری ۱۲۱
۵. ۶. ۴. ۳ ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پروتئین آب‌پنیر در فرمولاسیون نوزادان ۱۲۱
۵.۶.۴.۴ پروتئین آب‌پنیر به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان در نوشیدنیهای ورزشی ۱۲۳
۶.۴.۵.۵ فیلم خوراکی پروتئین آب‌پنیر برای حفظ آنتی‌اکسیدان‌ها در میوه‌ها و سبزیجات ۱۲۳
۵.۷ خلاصه ۱۲۵
فصل ششم : کاربردهای تغذیه‌ای پروتئین آب‌پنیر ۱۲۷
۶. ۱ شیرخشک ۱۲۸
۶. ۱. ۱ نسبت پروتئین آب‌پنیر/کازئین ۱۲۸
۶. ۱. ۲ فرمولاسیون و پروسه‌ی شیرخشک ۱۲۹
۶. ۱. ۳ پروتئین آب‌پنیربرای فرمول شیرخواران نسل بعدی ۱۳۱
۶. ۲ تغذیه‌ی ورزشی ۱۳۳
۶. ۲. ۱ متابولیسم پروتئین ۱۳۳
۶. ۲. ۲ پروتئین آب‌پنیر در کوزه ۱۳٤
۶. ۲. ۳ نوشیدنی‌های غذایی پروتئین آب‌پنیر اسیدی ۱۳٥
۶. ۲. ۴ پروتئین بار ۱۳٦
۶. ۳ مکمل‌های پروتئینی برای سالمندان ۱۳۷
۶. ۴ جایگزینی غذا ۱۳۸
۶. ۵ ماست سیمبیوتیک با پروتئین بالا ۱۳۹
۶.۶ خلاصه ۱٤۱
فصل هفتم: خواص عملکردی پروتئین آب‌پنیر وکاربردهای آن در فرمولاسیون مواد غذایی ۱٤۳
۱.۷ عامل غلیظ‌کننده/ ژله کننده‌ی مواد غذایی ۱٤٤
۲.۷ تثبیت‌کننده/ امولسیفایر مواد غذایی ۱٤۷
۱.۲.۷ فناوری‌های مورداستفاده برای توصیف امولسیون‌های پروتئین آب‌پنیر ۱٤۷

tbook.ir

۲.۲.۷ تشکیل امولسیون بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر ۱۴۸
۱.۲.۲.۷ فرایند تهیه‌ی امولسیون‌های پروتئینی آب‌پنیر ۱۴۹
۲.۲.۲.۷ ترکیب امولسیون‌های بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر ۱۵۱
۳.۲.۷ پایداری امولسیون‌های پایدار پروتئین آب‌پنیر ۱۵۲
۱.۳.۲.۷ پایداری در برابر حرارت ۱۵۲
۲.۳.۲.۷ پایداری در برابر قدرت یونی ۱۵۳
۳.۳.۲.۷ حساسیت اکسیداتیو روغن ۱۵۳
۴.۲.۷ پایداری پروتئین آب‌پنیر/ امولسیون برپایه‌ی هیدروکلوئید ۱۵۳
۱.۴.۲.۷ کمپلکس‌های کووالانسی پلی‌ساکارید با پروتئین آب‌پنیر ۱۵۴
۲.۴.۲.۷ کمپلکس‌های غیر کووالانسی پلی‌ساکارید باپروتئین آب‌پنیر ۱۵۴
۵.۲.۷ پایداری امولسیون‌های پروتئین آب‌پنیر در حضور سایر امولسیفایرها ۱۵۶
۳.۷ جایگزین چربی یا لبنیات ۱۵۶
۴.۷ حامل‌های تغذیه‌ای آب‌گریز ۱۵۸
۱.۴.۷ کاروتنوئیدها ۱۵۸
۱.۱.۴.۷ کاروتن ۱۵۹
۲.۱.۴.۷ گزانتوفیل‌ها ۱۵۹
۲.۴.۷ پلی‌فنول‌ها ۱۶۰
۵.۷ عامل میکروانکپسوله کننده ۱۶۲
۱.۵.۷ تهیه‌ی میکروکپسول‌های لیپید و طعم‌افزا بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر ۱۶۳
۱.۱.۵.۷ پارامترهای مورداستفاده برای ارزیابی میکروانکپسولاسیون ۱۶۳
۲.۱.۵.۷ فرایند میکروانکپسولاسیون ۱۶۴
۳.۱.۵.۷ ترکیب میکروکپسول طعم دهنده‌ها و لیپیدها ۱۶۵
۴.۱.۵.۷ میکروانکپسولاسیون روغن با استفاده از پروتئین آب‌پنیر/پلی‌ساکاریدها به‌عنوان مواد کامپوزیت دیواره ۱۶۹
۲.۵.۷ میکروانکپسولاسیون پروبیوتیک‌ها ۱۷۰
۱.۲.۵.۷ پارامترهای ارزیابی کپسول پروبیوتیک بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر ۱۷۰

۲.۲.۵.۷ فناوری فرمولاسیون برای میکروانکپسولاسیون پروبیوتیک‌ها ۱۷۱
۳.۵.۷ استفاده از پروبیوتیک‌های میکروانکپسوله شده در مواد غذایی ۱۷۶
۴.۵.۷ میکروانکپسولاسیون ترکیبات زیست فعال ۱۷۶
۶.۷ فیلم و پوشش ۱۷۸
۱.۶.۷ پارامترهای فیلم و پوشش ۱۷۸
۲.۶.۷ فیلم/ پوشش بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر ۱۷۹
۳.۶.۷ ترکیب فیلم/ پوشش پروتئین آب‌پنیر ۱۸۱
۱.۳.۶.۷ نوع وغلظت پروتئین ۱۸۱
۲.۳.۶.۷ نوع و غلظت پلاستی‌سایزر ۱۸۲
۳.۳.۶.۷ لیپیدها ۱۸۴
۴.۳.۶.۷ مواد نگه‌دارنده ۱۸۴
۵.۳.۶.۷ عوامل ضدمیکروبی ۱۸۴
۶.۳.۶.۷ پروبیوتیک‌ها ۱۸۶
۴.۶.۷ خصوصیات فیزیکی پروتئین آب‌پنیر/ فیلم کامپوزیت پلی‌ساکارید ۱۸۶
۵.۶.۷ کاربرد پوشش پروتئین آب‌پنیر در صنایع غذایی ۱۸۷
۱.۵.۶.۷ پنیر ۱۸۷
۲.۵.۶.۷ تخم‌مرغ و گوشت ۱۸۸
۳.۵.۶.۷ غذاهای دریایی ۱۸۹
۴.۵.۶.۷ میوه‌ها ۱۹۰
۵.۵.۶.۷ آجیل ۱۹۱
۷.۷ خلاصه ۱۹۲
فصل هشتم : اصلاح پروتئین آب‌پنیر ۱۹۳
۱.۸ تیمار حرارتی ۱۹۴
۲.۸ تیمار آنزیمی ۱۹۷
۱.۲.۸ اتصال عرضی توسط ترانس گلوتامیناز ۱۹۸
۲.۲.۸ هیدرولیز آنزیمی ۱۹۹

tnbook.ir

۳.۸ تیمار اولتراسوند ۲۰۰
۴.۸ تیمار فشار بالا ۲۰۲
۵.۸ پالس الکتریکی ۲۰۴
۶.۸ تیمارتابشی ۲۰۶
۱.۶.۸ پرتوهای گاما ۲۰۶
۲.۶.۸ پرتوی ماورا بنفش ۲۰۷
۷.۸ اصلاحات شیمیایی ۲۰۸
۸.۸ خلاصه ۲۱۰
فصل نهم : کاربردهای پروتئین آب‌پنیر در موارد غیر غذایی ۲۱۱
۱.۹ تئوری چسبندگی ۲۱۲
۱.۱.۹ تئوری جذب ۲۱۳
۲.۱.۹ درگیری مکانیکی ۲۱۳
۳.۱.۹ تئوری پیوند شیمیایی ۲۱۴
۲.۹ لاک/ پوشش نهایی چوب ۲۱۴
۳.۹ چسب چوب ۲۱۸
۴.۹ چسب اداری ۲۳۱
۵.۹ چسب بافتی ۲۳۶
۶.۹ خلاصه ۲۳۷
فصل دهم: توسعه‌ی تولید پروتئین آب‌پنیر در آینده ۲۳۹
۱.۱۰ تقاضای رو به رشد پروتئین آب‌پنیر ۲۴۰
۲.۱۰ رونق ماست یونانی و آب‌پنیر اسیدی ۲۴۰
۳.۱۰ پروتئین شیر و سرم میکرو فیلتر شده ۲۴۳
۵.۱۰ خلاصه ۲۴۷
فهرست منابع ۲۴۸

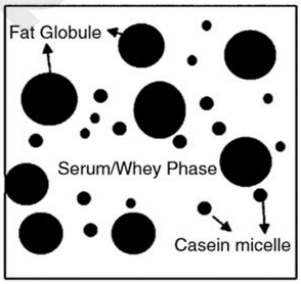
inbook.ir

فصل اول:
تاریخچه تولید آب پنیر و تولید پروتئین آب پنیر

tnbook.ir

۱.۱ انواع آب پنیر

شیر مجموعه‌ای از سوسپانسیون کلوئیدی است که از گلبول‌چربی، کازئین میسل کلوئیدی و سرم یا فاز آب‌پنیر تشکیل شده است (شکل ۱.۱). آب‌پنیر (که گاهی به آن سرم شیر گفته می‌شود) یک محلول شفاف زردرنگ مایل‌به‌سبز است که از شیر منعقدشده توسط رنت یا اسید به دست می‌آید. اجزای آب‌پنیر مولکول‌های کوچکی هستند که در ایجاد دلمه شیر نقشی ندارند و می‌توان آن‌ها را استخراج کرد. اجزای جامد آب‌پنیر شامل لاکتوز، پروتئین (به طور عمده پروتئین آب‌پنیر) و مواد معدنی است که در جدول ۱.۱ نشان داده‌شده است. مایع آب‌پنیر حاوی بیش از ٪۵۰ مواد جامد شیر، ازجمله بیشتر مواد معدنی و تقریباً تمام پروتئین‌های آب‌پنیر و لاکتوز است. انعقاد شیر با روش‌های مختلف منجر به انواع مختلف آب‌پنیر می‌شود. به‌طورکلی، می‌توان آن را به آب‌پنیر شیرین و آب‌پنیر اسیدی تقسیم‌بندی کرد. تفاوت بارزی بین آب‌پنیر شیرین و اسیدی وجود ندارد، اما به طور معمول با pH برابر ۵/۶ اختلاف نمایان می‌شود. آب‌پنیر شیرین دارای pH بالاتر از ۵/۶ است، درحالی‌که آب‌پنیر اسید دارای pH کمتر از ۵/۶ است. آب‌پنیر شیرین معمولاً از تولید پنیر (منعقدشده با رنت) به دست می‌آید و بعضاً به آن cheese whey نیز گفته می‌شود. آب‌پنیر اسیدی حاصل از انعقاد توسط تخمیر (لاکتوز تبدیل‌شده به اسیدلاکتیک، مانند تولید ماست یونانی) یا با افزودن اسید (تولید کازئین اسید) است (تونیک ۲۰۰۸). تفاوت ترکیبی بین آب‌پنیر شیرین و اسیدی در جدول ۱.۲ ذکرشده است.



شکل ۱.۱ شیریک سیستم تعلیق پیچیده است که از گلبول‌های چربی، میسل‌های کازین و سرم/آب‌پنیر

tnbook.ir

جدول ۱.۱ داده‌های تحلیلی شیر کامل و آب‌پنیر

اجزاء تشکیل‌دهنده	شیر کامل	آب‌پنیر
پروتئین کازئین(w/v, %)	۲/۸	<./۱
پروتئین آب‌پنیر(w/v, %)	۰/۷	./۷
چربی(w/v, %)	۳/۷	./۱
خاکستر(w/v, %)	۰/۷	./۵
لاکتوز(w/v, %)	۴/۹	۴/۹
مواد جامد(w/v, %)	۱۲/۸	۶/۳

منبع: داده‌های اقتباس‌شده از Smithers (۲۰۰۸)

جدول ۲.۱ مقایسه اجزای تشکیل‌دهنده آب‌پنیر اسیدی و شیرین

اجزاء تشکیل‌دهنده	آب‌پنیر شیرین	آب‌پنیر اسیدی
پروتئین ($g\ l^{-1}$)	۱۰-۶	۸-۶
لاکتوز ($g\ l^{-1}$)	۵۲-۴۶	۴۶-۴۴
ذرات معدنی ($g\ l^{-1}$)	۲/۴-۵/۷	۴/۷-۳/۲
pH	>۵/۶	<۵/۶

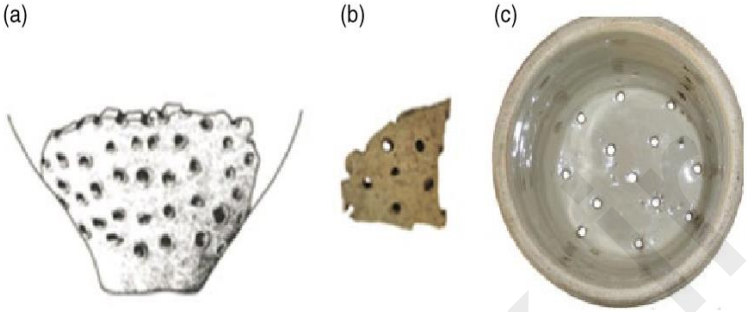
منبع داده‌های اقتباس‌شده از Tunick (۲۰۰۸)

۱.۱.۱ آب پنیر شیرین

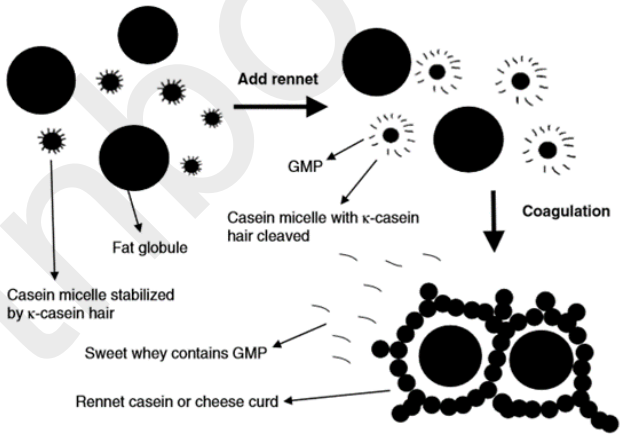
پستانداران مانند گاو، گوسفند و بز بیش از ۱۰،۰۰۰ سال است که اهلی شده‌اند (کلاتون – براک ۱۹۹۹; بیجا-پیرا و همکاران ۲۰۰۶). با استفاده از فنّاوری DNA می‌توان به ۱۷۰۰۰ سال پیش برگشت (تروی و همکاران ۲۰۰۱؛ بیج -پیرا و همکاران ۲۰۰۶). علاوه بر شیر، گاو و سایر پستانداران نیز برای اهدافی از جمله به‌عنوان وسیله‌ی نقلیه، پشم، یا گوشت اهلی شدند. آسیای شرقی و آفریقای مرکزی گاوها را

زودتر از مناطق دیگر اهلی می‌کردند، اما هیچ سنتی برای شیردوشی وجود نداشت (کلوتن- بروک ۱۹۹۹). تا به امروز، مردم آن مناطق نسبت به افرادی که از مناطق دیگر مانند شمال اروپا و خاور نزدیک بودند، هنوز عدم تحمل لاکتوز بیشتری دارند. عمل شیردوشی یک مرحله مهم در دوره ماقبل تاریخ است، زیرا باعث شده است که غذای پایدار و مغذی و بدون ذبح دام‌های گران‌بها فراهم شود. ساخت پنیر نقطه عطفی از تاریخ تمدن بشری بود. نگهداری پنیر به‌عنوان یک غذای نگهداری شده، از شیر تازه بسیار ساده‌تر است. تولید پنیر در زمان‌های قدیم بسیار متداول با فنّاوری مدرن است، به‌طورمعمول شامل تخمیر طبیعی، پختن، صاف کردن و خشک‌کردن می‌باشد. اعتقاد بر این است که احتمالاً اولین پنیر در معده نشخوارکنندگان تولید شده است که از آن به‌عنوان مخزن ذخیره شیر استفاده می‌شود (اسمیدزر ۲۰۰۸). آنزیمی به نام رنت که به طور طبیعی در معده موجود است باعث دلمه شدن شیر به پنیر می‌شود. بعد از دلمه شدن شیر، دلمه صاف می‌شود تا آب‌پنیر از آن خارج گردد. این احتمالاً اولین دفع آب‌پنیر بود که حتی نمی‌دانیم کی و کجا اتفاق افتاده است. شواهد باستان‌شناسی شیردوشی اولیه (معمولاً به شکل سفال/ باقی‌مانده پنیر) در سراسر جهان افشا شده است (ایورشد و همکاران ۲۰۰۸؛ سالک و همکاران ۲۰۱۳؛ اسکات، رابینسون و ویلبی ۱۹۹۸، یانگ و همکاران ۲۰۱۴). اولین شواهد ساخت پنیر در شمال اروپا مربوط به هزاره ششم قبل از میلاد بود (سالک و همکاران ۲۰۱۳)، این قطعه از یک سفال غربالی است که برای صاف کردن آب‌پنیر استفاده شده است (شکل ۲.۱). ظرف غربال بازسازی‌شده (شکل ۲.۱ b) بسیار شبیه به ظرف غربال مدرن پنیر از Haute-Loire، فرانسه بود و قدمت آن به آغاز قرن بیستم باز می‌گردد (بریگز ۲۰۱۲). تولید پنیر معمولی شامل اضافه‌کردن آنزیم رنت برای شکستن رشته‌های مو مانند میسل کازئین است، بنابراین ساختار میسل از بین رفته سپس شیر دلمه می‌شود (اوکالاهان و همکاران ۲۰۱۳).

فاز سرم شیر با برش و فشار شیر دلمه شده قابل‌استخراج است. فرایند انعقاد رنت در شکل ۳.۱ نشان‌داده‌شده است. رنت آنزیم پیچیده‌ای است که در معده‌های نشخوارکنندگان تولید می‌شود.



شکل ۲.۱ (a) ظرف غربال بازسازی‌شده. (b) قطعه غربال (۷۰۰۰ سال قدمت) موجود در منطقه Kuyavia، لهستان؛ (c) یک ظروف سفالی مدرن که در پنیرسازی استفاده می‌شود. منبع: اصلاح شده از سالک و همکاران (۲۰۱۳).



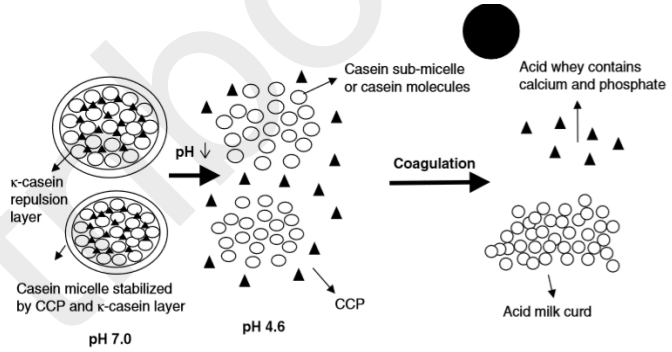
شکل ۳.۱ پنیر منعقدشده شیر و آب‌پنیر شیرین

جزء کارکردی به نام کیموزین که یک پروتئاز است می‌تواند رشته‌های مو مانند کاپاکازئین را قطع کند (پروتئین کازئین که ساختار میسل را تثبیت می‌کند)، بنابراین میسل‌های کازئین دلمه می‌شوند (داوییاو و همکاران ۲۰۰۰). گلبول‌های چربی توسط آب‌پنیر کازئین به‌دام‌افتاده یا امولسیون می‌شوند،

درحالی‌که می‌توان فاز سرم را استخراج کرد که اصطلاحاً آب‌پنیر شیرین یا cheese whey نامیده می‌شود. هنگامی که ۱ قسمت پنیر تهیه می‌شود، ۹ قسمت از آب‌پنیر مایع تولید می‌شود. ذره کاپاکازئین توسط آنزیم رنت از میسل کازئین جدا می‌شوند که گلیکوماکروپپتید GMP (برودی ۲۰۰۰) نام دارند، معمولاً در محصولات آب‌پنیر شیرین حضور دارند. رنت نقشی بر روی تبدیل لاکتوز به اسیدلاکتیک ندارد، بنابراین آب‌پنیر شیرین دارای pH خنثی‌تر است. امروزه باتوجه‌به حجم عظیم پنیر در جهان، آب‌پنیر شیرین حاصل از تهیه پنیر، عمده‌ترین آب‌پنیر تجاری موجود است.

۲.۱.۱ آب پنیر اسیدی

آب‌پنیر اسیدی فرآوردهٔ فرعی از شیر منعقد شده اسیدی شامل؛ کازئین اسیدی و ماست یونانی است. در pH خنثی، میسل کازئین توسط زوائد مو مانند کاپا-کازئین (از طریق دفع الکترواستاتیک) و کلسیم فسفات کلوئیدی (CCP) تثبیت می‌شود (دی کرویف و هالت ۲۰۰۳). مکانیسم انعقاد اسیدی در شکل ۴.۱ نشان‌داده‌شده است. هنگامی که pH کاهش می‌یابد، دفع الکترواستاتیک کاپا-کازئین خنثی می‌شود و باعث می‌شود لایه مویی میسل کوچک شود (کرویف ۱۹۹۷). از طرف دیگر، CCP که مولکول‌های کازئین را به هم وصل می‌کند، در فاز سرم حل می‌شود (لی گریت و گاو کرون ۱۹۹۹).



شکل ۴.۱ دلمه شیر منعقد شده اسیدی و آب‌پنیر اسیدی

میسل کازئین پایداری خود را ازدست‌داده و به دلمه شیر منعقد می‌شود (لوسی۲۰۰۳). آب‌پنیر استخراج شده از دلمه شیر اسیدی، آب‌پنیر اسیدی نامیده می‌شود. اسیدی شدن را می‌توان با افزودن اسید معدنی یا آلی (مانند هیدروکلراید و اسیدلاکتیک) و یا تخمیر (لاکتوز تبدیل به اسیدلاکتیک) القا کرد. باتوجه‌به مکانیسم‌های مختلف انعقاد ناشی از رنت یا اسید، آب‌پنیر اسیدی و شیرین، خواص فیزیکوشیمیایی مختلفی را نشان می‌دهند. علاوه بر اختلاف pH، آب‌پنیر اسیدی به طور معمول حاوی

GMP (عدم وجود رنت و کاپا-کازئین شکسته شده)، خاکستر زیاد (کلسیم آزاد شده از میسل به فاز سرم) و شاید اندکی لاکتوز کمتر (برخی از لاکتوزها به اسیدلاکتیک تبدیل شده‌اند) در مقایسه با آب‌پنیر شیرین باشد. در مورد آب‌پنیر اسیدی در ماست یونانی، به دلیل عملیات حرارتی قبل از تخمیر، برخی از پروتئین‌های آب‌پنیر (به‌ویژه بتالاکتوگلوبولین) با کاپا-کازئین از طریق برهم‌کنش دی سولفید-تیول ارتباط برقرار می‌کنند (لوسی ۲۰۰۲؛ لو و همکاران ۲۰۱۳) و بخشی از شیر به حالت لخته شده در می‌آید، درنتیجه منجر به کاهش پروتئین در آب‌پنیر اسیدی می‌شود.

۱.۱ مصارف آب‌پنیر

آب‌پنیر برای بیشتر اوقات غیرقابل‌استفاده در نظر گرفته می‌شد به‌ویژه پس از زمانی که تولید انبوه پنیر صنعتی مدرن در قرن نوزدهم آغاز شد. آب‌پنیر دفع شده آلوده‌ترین ضایعات لبنیات صنعتی با اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی (BOD) بین ۳۵ تا ۴۵ کیلوگرم مترمکعب و اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) ۶۰ تا ۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته می‌شود (ماوسون ۱۹۹۴). دفع مستقیم آب‌پنیر تیمار نشده (آب‌پنیر تصفیه نشده) به داخل محیط در اکثر مناطق جهان ممنوع بوده است. پنیر یک محصول متراکم مغذی است که شامل حدود ٪۵۰ مواد جامد شیر است. تاریخچه استفاده از آب‌پنیر مثالی عالی از تبدیل یک قطره به طلا است (اسمیدزر ۲۰۰۸).

۱.۲.۱ دانش باستانی

اجداد عصر برنز ما احتمالاً هرگز مایع زردرنگ مایل‌به‌سبز را که از درون رگه‌های پنیر به‌عنوان یک ماده مشکل‌ساز کنار گذاشته یا در آن باقی می‌ماند را در زمانی که غذا گران‌بها بود و هیچ‌چیزی نمی‌توانست هدر رود مصرف نکرده‌اند، عادت به نوشیدن آب‌پنیر در اوایل قرن بیستم از بین رفته بود. حتی امروزه از آب‌پنیر برای تهیه نوشیدنی‌های کاربردی مختلفی ازجمله انرژی‌زا (سینگ و سینگ ۲۰۱۲)، تخمیر (پیسکوما و همکاران ۲۰۱۰)، الکلی (دراگون و همکاران ۲۰۰۹) و نوشیدنی‌های گازدار استفاده شده است (سینگ و سینگ ۲۰۱۲).

در اوایل سال ۴۶۰ قبل از میلاد، پزشک یونانی بقراط آب‌پنیر را برای بیماران خود برای تقویت سیستم ایمنی، بیماری‌های دستگاه گوارش و شرایط پوستی تجویز کرد (هفرنان ۲۰۱۵؛ سسلی ۱۹۵۶؛ اسمیدرز ۲۰۱۵). اسمیدرز در سال ۲۰۰۸ اشاره‌ای تاریخی به استفاده از آب‌پنیر برای بیماری سپسیس، بهبود زخم و بیماری معده در قرن هفدهم داشت. مصرف آب‌پنیر از قرن هفدهم در اروپا به یک عادت غذایی

رایج تبدیل شد (هالسینگر ۱۹۷۸).

«خانه آب‌پنیر» با منوی فرنی آب‌پنیر، سوپ آب‌پنیر، چای آب‌پنیر و کره آب‌پنیر از قرن هفدهم تا قرن نوزدهم در اروپا بسیار محبوب بود (اسمیدرز ۲۰۱۵). بر اساس فرضیه‌های پوستی و موضعی فرض شده، استحمام در آب‌پنیر در قشر مرفه اروپا در قرن هفدهم تا نوزدهم رایج شد (هفرنان ۲۰۱۵؛ اسمیدرز ۲۰۱۵). تا به امروز، آب‌پنیر گرم به‌عنوان یک استراحتگاه لوکس، هنوز هم هزاران گردشگر را برای بازدید از سوئیس و مناطق آلپ جذب می‌کند (Mycek n.d).

۲.۲.۱ تلاش‌های اولیه صنعتی

تا اوایل قرن بیستم، رشد سریع پنیر و تولید کازئین باعث گسترش انفجاری تولید آب‌پنیر شد. دانش قدیمی ما در استفاده از آب‌پنیر دیگر قادر به بهره‌وری مقدار زیاد از آب‌پنیر حاصل از صنعت پنیر نبود. دفع مستقیم آب‌پنیر به رودخانه‌ها و محیط‌زیست باعث ایجاد آلودگی شدید شده و آب‌پنیر به جریان آلوده‌کننده مشکل‌ساز تبدیل می‌شود. از آن زمان به بعد، تلاش‌های زیادی توسط دانشگاه‌ها و صنعت برای استفاده از آب‌پنیر صورت‌گرفته است. تغلیظ یا خشک‌کردن آب‌پنیر مایع برای سهولت در نگهداری یا حمل آن‌یکی از اولین اقدامات برای استفاده از آب‌پنیر بود. یکی از تحولات مهم در سال ۱۹۰۸ خشک‌کردن آب‌پنیر شیرین با خشک‌کن پاششی توسط مرل بود (مرل ۱۹۱۱). در این اختراع، آب‌پنیر مایع از طریق یک دستگاه اتمایزر وارد شده و به ذرات ریز تقسیم می‌شود، سپس در محفظه خشک‌کننده با هوایی که به اصطلاح «هوای جاذب رطوبه» نامیده می‌شود، خشک می‌شود. خشک‌کردن اولیه آب‌پنیر صنعتی شامل خشک‌کردن غلتکی (گولدین و روسل ۱۹۳۲)، خشک‌کن پاششی (مرل ۱۹۱۱؛ پیبلس و مانینگ ۱۹۳۹) و ترکیب اسپری و خشک‌کن استوانه‌ی دوار بود (تونیک ۲۰۰۸). مسئله رایج اولیه، فناوری خشک‌کردن زود هنگام، هزینه بالای انرژی به دلیل ماهیت هیگروسکوپی لاکتوز بود و با دناتوره شدن پروتئین آب‌پنیر حلالیت و عملکرد آن شدید ضعیف شده است (تونیک ۲۰۰۸). اواپراتورهای چند مرحله‌ای تحت خلاء برای بهبود حلالیت توسعه یافته‌اند (وب و ویتیر ۱۹۴۸؛ فرانسیس ۱۹۶۹) به دلیل عدم وجود فناوری بازیابی و تصفیه پروتئین آب‌پنیر از مایع، استفاده اولیه از آب‌پنیر صنعتی محدود به خوراک حیوانات بود و برنامه‌های کاربردی فقط مربوط به خاصیت لاکتوز مانند غذای شیرخواران و شکر قهوه‌ای برای نانوایی و شیرینی‌سازی بود (بری ۱۹۲۳).

۳.۲.۱ پیشرفت کنونی

معدن طلای پروتئین آب‌پنیر در زیر خاک دفن بود تا دهه ۱۹۷۰ که فناوری فیلتراسیون غشایی به ورود پیدا کرد. فیلتراسیون غشایی اجزاء را بر اساس اندازه ذرات جدا می‌کند (زیدنی ۱۹۹۸) جزئیات مکانیسم فیلتراسیون غشایی در فصل ۲ موردبحث قرار خواهد گرفت. با فیلتراسیون‌غشایی، میزان پروتئین آب‌پنیر موجود در پودر از ٪۱۱(پودر آب‌پنیر شیرین) تا ٪۹۰ (پروتئین آب‌پنیر ایزوله [WPI]) افزایش می‌یابد.

فناوری غشایی فرایندی غیرحرارتی است که دناتوره‌شدن پروتئین را به حداقل می‌رساند. پروتئین موجود در آب‌پنیر مایع با میکروفیلتراسیون یا اولترافیلتراسیون قابل بازیابی است (مور و ها ۱۹۹۳). به‌منظور رفع نقایص پودر آب‌پنیر تغلیظ شده با تبخیر (مانند حلالیت ضعیف و رنگ قهوه‌ای)، تولیدکنندگان کنسانتره‌ی پروتئین آب‌پنیر (WPC) و پروتئین آب‌پنیر ایزوله از نانوفیلتراسیون برای تغلیظ مواد جامد قبل از خشک‌کن پاششی استفاده می‌کنند (آترا و همکاران ۲۰۰۵).

۳.۱ محصولات تجاری عمده موجود در آب‌پنیر

۱.۳.۱ لاکتوز

لاکتوز فراوان‌ترین ماده‌ای است که از تبلور آب‌پنیر حاصل می‌شود، از آن در فرمول شیرینی، شیرینی‌سازی، نانوایی و محصولات دارویی بسیار استفاده می‌شود (هولسینگر ۱۹۸۸).

۲.۳.۱ پودر آب‌پنیر

آب‌پنیر شیرین و آب‌پنیر اسیدی را می‌توان پاستوریزه کرد و به‌منظور به‌دست‌آوردن پودر آب‌پنیر شیرین و آب‌پنیر اسیدی، از خشک‌کن پاششی استفاده کرد. پودر آب‌پنیر حاوی تمام مؤلفه‌های آب‌پنیر تازه است و می‌تواند به‌عنوان جایگزین شیرخشک استفاده شود. پودر آب‌پنیر یک ماده با قابلیت قهوه‌ای شدن خوب است؛ بنابراین در نانوایی و شیرینی‌سازی کاربرد خوبی دارد (داتاتریا و همکاران ۲۰۰۷)؛ بااین‌حال، استفاده از پودر آب‌پنیر به دلیل پروتئین کم و میزان خاکستر زیاد تا حدودی محدود است. آب‌پنیر دمینیرال شده با حذف جزئی مواد معدنی با تبادل یونی، دیافیلتراسیون یا الکترودیالیز تولید می‌شود (هولدزورت ۱۹۸۰)،۳ سطح معمولی دمینیرال کردن ٪۲۵، ٪۵۰ و ٪۹۰ است. آب‌پنیر دمینیرال شده می‌تواند در فرمول غذای نوزادان، ماست و سایر کاربردها مورداستفاده قرار گیرد (جوست و همکاران ۱۹۹۹؛ پنا، باروفالدی و الیویرا ۱۹۹۷، تراتنیک و کرسو ۱۹۸۷).

۳.۳.۱ کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (WPC) و پروتئین جدا شده پنیر (WPI)

پروتئین آب‌پنیر به دلیل داشتن خواص تغذیه‌ای و عملکردی، باارزش‌ترین مؤلفهٔ موجود در آب‌پنیر است (دویت ۱۹۹۸–مارشال ۲۰۰۴). پروتئین آب‌پنیر را می‌توان تا ٪۸۰ از مواد جامد کل از طریق فنّاوری الترا فیلتراسیون تغلیظ کرد. متداول‌ترین WPC شامل WPC34، WPC60 و WPC80 است که به ترتیب دارای ٪۳۴، ٪۶۰ و ٪۸۰ پروتئین هستند (جدول ۱. ۳). WPC۳۴ از نظر ترکیبات پروتئین، لاکتوز و چربی بسیار شبیه به پودر شیر بدون چربی است و برای مدت طولانی برای جایگزین پودر بدون چربی مورداستفاده قرار می‌گیرد (هاپپ و همکاران ۲۰۰۸). با یک مرحله اضافی از میکروفیلتراسیون، پروتئین WPC80 را می‌توان با حذف چربی اضافی، تا بیش از ٪۹۰ تغلیظ کرد که به آن WPI گفته می‌شود.

WPIدارای ویژگی‌های استثنایی شامل خواص ژل کنندگی، امولسیونی و کف‌کنندگی می‌باشد (بری و همکاران ۲۰۰۹؛ گونکار و همکاران ۲۰۱۰) WPC80 .و WPI همچنین برای مکمل‌های پروتئینی ورزشی و مکمل‌های پروتئینی بزرگسالان قابل استفاده است .

۴.۳.۱ محصولات مشتق شده از پروتئین آب‌پنیر

اجزای مختلف پروتئین آب‌پنیر دارای خواص عملکردی و غذایی مختلفی هستند (مارشال ۲۰۰۴). جزئیات جداسازی پروتئین آب‌پنیر در فصل ۲ مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همهٔ لاکتالبومین غنی شده، β-لاکتوگلوبولین غنی شده، لاکتوفرین، لاکتوپراکسیداز و GMP موجود در پروتئین آب‌پنیر به هم می‌پیوندند تا کاربردهای متعدد و بخصوصی را ایجاد کنند.

جدول ۳.۱ ترکیب معمول (٪) محصولات عمده آب‌پنیر

	پروتئین	لاکتوز	چربی	خاکستر	رطوبت
پودر آب‌پنیر	۱۱–۱۴.۵	۶۳–۷۵	۱ –۱/۵	۸/۲ –۸/۸	۳/۵ –۵
آب‌پنیر دی مینرال شده	۱۱–۱۵	۷۰–۸۰	۰/۵ –۱/۸	۱–۷	۳–۴
WPC34	۳۴–۳۶	۴۸–۵۲	۳ –۴/۵	۶/۵ –۸	۳ –۴/۵
WPC60	۶۰–۶۲	۲۵–۳۰	۱–۷	۴–۶	۳–۵
WPC80	۸۰–۸۲	۴–۸	۴–۸	۳–۴	۳/۵ –۴/۵
WPI	۹۰–۹۲	۰/۵ –۱	۰/۵ –۱	۲–۳	۴/۵

thbook.ir

Permeate solids (food grade)	۳-۸	۶۵-۸۵	<۱/۵	۸-۲۰	۳-۵

منبع: داده‌های اقتباس شده از شورای صادرات لبنی ایالات متحده دفترچه راهنمای مرجع برای محصولات آب‌پنیر و لاکتوز ایالات متحده. http://usdec. iles.cmsplus.com

۵.۳.۱ محصولات معدنی شیر

امروزه هر نوع جریانی از آب‌پنیر به‌خوبی در برخی محصولات، از جمله محصولات معدنی شیر استفاده شده است. ترکیبات حاصل از تولید WPC و WPI عمدتاً حاوی لاکتوز و خاکستر است (جدول ۳.۱) که می‌توان برای ترکیبات جامد از روش خشک‌کن پاششی استفاده کرد. همچنین، می‌توان لاکتوز را از سرم‌شیر کریستاله کرد و سپس سرم‌شیر لاکتوززدایی شده را خشک کرد که به آن نمک‌شیر گفته می‌شود. هم سرم‌شیر و هم نمک‌های شیر منبع عالی مواد معدنی هستند و می‌توان از آن برای موادخوراکی و موادغذایی استفاده کرد.

۴.۱ خلاصه

آب‌پنیر محلول شفاف زرد مایل‌به‌سبز است که از شیر دلمه بسته‌شده توسط رنت یا اسید استخراج می‌شود. آب‌پنیر هزاران سال است که به صورت‌های مختلف مثل نوشیدن استفاده می‌شود.

با افزایش مقدار آب‌پنیر حاصل از صنعت پنیر و توسعه فناوری، هم دانشگاه‌ها و هم صنعت برای استفاده از آب‌پنیر تلاش‌های بسیاری کرده‌اند. امروزه از هر نوع آب‌پنیر به‌خوبی استفاده شده است که شامل لاکتوز، پروتئین آب‌پنیر و فرآورده‌های معدنی شیر است.

tnbook.ir