نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۹، ص. ۱۴۴ ـ ۱۳۶

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 6, No. 2, Summer, 2010, p. 136-144

تأثیر پکتین بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و حسی تافوی (پنیر سویا) تولید شده توسط منعقدکننده‌های کلرید کلسیم و گلوکونو دلتا لاکتون

بابک قنبرزاده [۱*] ویدا اسپرن [۲] سید ابراهیم حسینی [۳]

تاریخ دریافت : ۸۹/۱/۱۷
تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۲۶

چکیده

پنیرسویا (تافو) یکی ازمهمترین فرآورده‌های پروتئینی گیاهی است و سالهای بسیار طولانی است که در کشورهای جنوب شرقی آسیا تولید می‌شود. در این تحقیق، اثر هیدروکلوئید پکتین در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ درصد (وزنی وزنی، بر پایه شیرسویا) و نمک‌های منعقدکننده کلریدکلسیم و گلوکونودلتالاکتون (GDL) در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ درصد بر راندمان استحصال و ویژگی‌های مختلف کیفی تافو مورد مطالعه قرار گرفت. راندمان نمونه‌های تافوی بدون هیدروکلوئید (نمونه‌های شاهد) حاوی GDL، بیشتر از نمونه‌های حاوی $CaCl_2$ بود. افزودن پکتین، موجب افزایش راندمان تمام نمونه‌ها گردید و بر خلاف نمونه‌های شاهد، در بین فرمولاسیون‌های حاوی هیدروکلوئید، فرمولاسیون‌های حاوی $CaCl_2$ راندمان بیشتری را نشان دادند. بین نمونه‌های شاهد، از نظر فاکتور روشنایی (L*)، تفاوت معنی داری ($P<0/05$) وجود نداشت و این نشان دهندهٔ عدم تأثیر نوع منعقد کننده در میزان روشن بودن رنگ محصول تافوی نهایی بود. افزودن پکتین، موجب افزایش فاکتور روشنایی در نمونه‌ها گردید و این افزایش در تافوهای حاوی $CaCl_2$ نسبت به نمونه‌های حاوی GDL بیشتر بود. نتایج آزمون بافت سنجی نشان دادکه سفتی نمونه شاهد حاوی $CaCl_2$ از نمونه شاهد حاوی GDL بیشتر بود. افزودن هیدروکلوئید پکتین در هر دو غلظت موجب کاهش سفتی نمونه‌ها گردید. آزمون حسی هدونیک نشان داد که نمونه‌های فاقد هیدروکلوئید مقبولیت حسی بالاتری داشتند، ولی این تفاوت در اکثر نمونه‌ها غیر معنی دار ($P>0/05$) بود.

واژه‌های کلیدی: تافو، پکتین، رنگ سنجی، رئولوژی

مقدمه[۱]

در مدت ده سال گذشته، بشر با مشکل جدی بحران غذا مواجه شده است بطوریکه کارشناسان تخمین زده اند که گرسنگی و سوء تغذیه، عامل اصلی بیماریهایی هستند که سالانه جان ۱۵ – ۲۰ میلیون انسان را می‌گیرند و بیشتر این قربانی‌ها بچه‌های زیر پنج سال هستند. اگرمیزان پروتئین روزانه موردنیاز هر فرد را بطور متوسط ۱۴ گرم در نظر بگیریم (۱۶) میزان پروتئین سالانه موردنیاز با جمعیت ۸۰ میلیون نفری کشورمان، در حدود ۱۱۶۸۰۰۰ تن خواهد بود که قسمت عمدهٔ آن از پروتئین‌های گیاهی (در حدود ۶۳ درصد) تأمین می‌شود. درکشور ما نیز نیازهای غذایی و به ویژه پروتئینی، باتوجه به روند رشد جمعیت، روبه فزونی است.

پنیرسویا (تافو) یکی ازبهترین فرآورده‌های پروتئینی گیاهی است و سالهای بسیار طولانی است که در کشورهای جنوب شرقی آسیا تولید و مصرف می‌شود (۱۰) و می‌توان آن را با اصلاحاتی برای رفع بخشی از نیاز پروتئینی کشورمان یا به عنوان جایگزین نسبی گوشت یا پنیر مورد مصرف قرارداد. این محصول به علت نسبت بالای پروتئین به چربی دارای مقدار کالری نسبتاً کمی است. علاوه بر آن، تافو می‌تواند برای افرادی که به لاکتوز، کلسترول و اسیدهای چرب اشباع بالای موجود در پنیر یا دیگر فرآورده‌های پروتئینی لبنی حساس هستند، جایگزین بسیار خوبی باشد. نکته مهم تغذیه ای تافو، عدم وجود کلسترول و لاکتوز و همچنین اسیدهای چرب اشباع بالا می‌باشد (۱۶). بطور متوسط یک قطعهٔ ۲۲۵ گرمی تافو، دارای ۱۱گرم پروتئین می‌باشد که معادل پروتئین یک فنجان شیرکامل است و ۲۷

۱ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(* نویسنده مسئول Email:Ghanbarzadeh@tabrizu.ac.ir)
۲ و ۳ به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

٪ نیاز روزانه به پروتئین را مرتفع می‌سازد. علاوه بر این، تافو منبع عالی برای آهن، فسفر، پتاسیم، سدیم و ویتامین‌های B و E می‌باشد (۳). همچنین، هزینه تولید تافو چندان بالا نبوده و با روش‌های متعددی می‌توان آن را تهیه کرد و به عنوان یک جزء مناسب در بسیاری از رژیم‌های غذایی وارد نمود. محصولات جانبی تافو نیز به همان نسبت دارای مصارف زیادی هستند.

ژله ای شدن بافت غذاهای پروتئینی از طریق دناتوره شدن پروتئین‌ها صورت می‌گیرد و در طی این فرآیند، نواحی آبگریز مولکول‌های پروتئین، که در حالت طبیعی درون ساختمان فضایی پروتئین قرار گرفته اند، آزاد شده و زمینه را برای ایجاد پیوندهای آبگریز (هیدروفوبیک) زیادی را بین زنجیرهای پروتئینی مجاور فراهم می‌آورند (۹ و ۸). pH عصارهٔ سویا حدود۷ می‌باشد و در این pH ، مولکولهای پروتئین سویا دارای بارمنفی هستند و نمی‌توانند به هم متصل شده و ذرات و لخته‌های بزرگتری راتشکیل دهند. اسیدی کردن عصارهٔ سویا منجر به کاهش تدریجی بارهای منفی و کاهش دفع بین زنجیره‌های پروتئین می‌گردد. زمانیکه pH به اندازهٔ کافی پایین بیاید، ذرات پروتئین شروع به چسبیدن به یکدیگر نموده و ژل تشکیل می‌دهند (۶ و ۴). واکنش بین گروه‌های با بار منفی پروتئین‌های سویا با یونهای مثبت حاصل از مادهٔ منعقد کننده مورد استفاده در فرمولاسیون تافو، عامل مهمی در ایجاد و گسترش ساختار ژله ای و ایجاد بافت تافو می‌باشد. تشکیل شبکهٔ ژلی گسترده تر، نگهداری آب بیشتری را در فرمولاسیون به همراه دارد که منجر به کاهش سفتی بافت می‌شود (۸).

هیدرو کلوئیدها، بیوپلیمرهای کربوهیدراتی(مانند صمغ‌ها) و گاهی پروتئینی(مانند ژلاتین) هستند که می‌توانند مقدار زیادی آب را در ساختار خود جذب کرده و بدین طریق باعث ایجاد خواص کاربردی مفید در سیستمهای غذایی شوند. مهمترین این کاربردها عبارتند از: قوام دهندگی (افزایش ویسکوزیته)، ژل کنندگی، به عنوان پایدار کننده برای سیستم‌های کلوئیدی غذایی[1]، بازدارندگی در برابر جذب روغنها، امولسیون کنندگی، تشکیل دهندهٔ فیلم و پوششهای خوراکی، بازدارنده گی در برابر آب اندازی، جاذب الرطوبگی و کاهش دهنده تحرک آب (۱ و ۲). هیدروکلوئیدها برای تثبیت و گسترش ژل‌های پروتئینی از جمله شبکه پروتئینی سویا می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (۷) و برخی از آنها بطور بالقوه می‌توانند استحکام شبکه ژلی را افزایش دهند (۹). همچنین نوع و غلظت نمکهای مورد استفاده نیز می‌تواند بر کیفیت نهایی تافو و به ویژه بافت آن موثر باشد.

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف این تحقیق، بررسی اثر هیدروکلوئید پکتین همراه با دو نوع کمک منعقد کننده کلرید کلسیم و گلوگونو دلتا لاکتون بر راندمان استحصال و ویژگی‌های کیفی، فیزیکی و حسی تافو بوده است.

مواد و روش‌ها

مواد

در این تحقیق از هیدرو کلوئید پکتین (شرکت پروویسکوی[2] کشور سوئیس) با متوکسیل پایین و شیرسویا بریکس ۸ که از آن برای تولید شیرسویای طعم دار استفاده می‌شود، (تولید شرکت مک سوی ایران) استفاده شد. علاوه بر آن، از عوامل منعقد کننده شامل کلریدکلسیم (ساخت شرکت مرک آلمان) و گلوکونودلتالاکتون (ساخت شرکت پوراک اسپانیا) استفاده شد.

ترکیبات شیمیایی دانه و شیر سویا

رطوبت دانه با استناد به روش AACC 44-15A، مقدار پروتئین دانه و شیرسویا مطابق روش AACC 24-46، مقدار چربی دانه با استناد به روش AACC 30-25، و pH شیر سویا مطابق روش AACC 09-07اندازه گیری شدند.

تهیه تافو

شش نوع فرمولاسیون برای تولید تافو مطابق ترکیب‌های مندرج در جدول (۱)، تهیه شدند. شیر سویای استخراج شده را تا دمای ۱۰۰°C ، که نقطه جوش شیر سویا می‌باشد، حرارت داده وسپس دمای آن را تا دمای ۳۰ درجه سانتی گراد در بن ماری کاهش دادیم. دراین فاصله، پکتین (۱ و ۲ گرم بر ۱۰۰۰ میلی لیتر) را درآب جوش ۸۰°C کاملاً حل کردیم و به شیر سویا، که مجدداً تا دمای ۷۰ °C حرارت داده شده بود، افزوده وکاملاً مخلوط کردیم. سپس مادهٔ منعقد کننده (کواگولانت) مناسب یعنی کلرید کلسیم و گلوکونو دلتا لاکتون (۱ گرم بر ۱۰۰۰ میلی لیتر) را در داخل محلول ریخته و به هم زدیم تا لخته موردنظر تشکیل شود. سپس، لخته را داخل توری ریخته وکاملا آبگیری کردیم و به دنبال آن به مدت ۳۰ دقیقه نمونه‌ها را در زیر وزنه قراردادیم (۳). نمونه‌های شاهد و حاوی پکتین ۰/۱ و ۰/۲٪ تولید شده به کمک دو نوع منعقد کننده، مورد آزمونهای فیزیکی و حسی قرار گرفتند.

راندمان و ترکیبات شیمیایی تافو

تعیین راندمان استحصال با اندازه گیری وزن محصول نهایی به ازای یک لیتر شیر سویا و با استفاده از ترازوی دیجیتال در یک روز پس از زمان تولید و در دمای محیط تعیین شد (۳). رطوبت تافو با استناد به روش AACC 44-15A و مقدار پروتئین تافوی تهیه شده با استفاده از روش AACC 24-46 تعیین شد.

1- Stabilizer

2- PROVISCO

جدول ۱ مواد تشکیل دهندهٔ نمونه‌های تافو

نمونه‌ها	مقدار شیر سویا(کیلوگرم)	مقدار آب(لیتر)	نوع نمک (۴ گرم)	مقدار صمغ(گرم)
نمونه حاوی نمک	۱	۰/۱	GDL	۰
نمونه حاوی نمک	۱	۰/۱	$CaCl_2$	۰
نمونهٔ حاوی ۰/۱٪ پکتین	۱	۰/۱	GDL	۱
نمونهٔ حاوی ۰/۲٪ پکتین	۱	۰/۱	GDL	۲
نمونه حاوی۰/۱٪ پکتین	۱	۰/۱	$CaCl_2$	۱
نمونه حاوی ۰/۲٪ پکتین	۱	۰/۱	$CaCl_2$	۲

آزمون بافت سنجی (رئولوژیکی)

برای تعیین ویژگی‌های بافتی تافو، از آزمون فشردن تک محوره در دستگاه بافت سنج هونسفیلد[1] (مدل H5KS ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. نمونه‌ها در ابعاد تقریباً به طول و عرض۲۰ میلی متر تهیه گردیدند. مقادیر نیرو (میزان نیرویی که باید فک بالایی دستگاه به نمونه وارد کند) برابر با ۵ کیلوگرم و یا ۵۰۰ نیوتن و سرعت کرنش (میزان سرعتی که فک بالا به سمت پائین حرکت می‌کند) در ۵۰ میلی‌متر در دقیقه تنظیم شدند. در این آزمون، از پروب استوانه ای شکل و با قطر مقطع ۵۰ میلیمتر استفاده گردید. مقدار نیروی لازم برای فشردن نمونه به اندازه ۷۰٪ ارتفاع اولیه تعیین شد و به عنوان سفتی بر حسب نیوتن گزارش گردید (۲). آزمون بافت سنجی برای هر نمونه در سه تکرار انجام شد.

آزمون رنگ سنجی

رنگ نمونه‌ها توسط دستگاه رنگ سنج‌هانتر لب[2] (مدل-D25 9000 ، ساخت آمریکا) تعیین شد. در این آزمون، تمامی‌تیمارهای تافو، ۲۴ ساعت بعد از تولید و از قسمت درونی، نمونه برداری شده و تحت آزمون رنگ سنجی قرار گرفتند. برای هر نمونه سه تکرار انجام گردید (۳). شدت رنگ‌ها، با استفاده از پارامترهای‌هانتر برحسب روشنایی[3] (L^*)، قرمزی سبزی(a^*) و زردی آبی(b^*) بیان گردید. اندیس زردی[4] YI نیز بصورت زیر محاسبه شد:

$$YI = \frac{142/86\,b}{L} \qquad [1]$$

میزان اختلاف رنگ کلی (ΔE) بین نمونه‌ها نیز از رابطهٔ زیر محاسبه شد:

$$\Delta E = [(L_{standard} - L_{sample})^2 + (a_{standard} - a_{sample})^2 + (b_{standard} - b_{sample})^2]^{1/2} \qquad [2]$$

آزمون حسی توصیفی[5]

هدف از انجام این نوع آزمون حسی، تعیین شدت صفت‌های حسی مورد نظر بود. برای این منظور، ۶ نفر ارزیاب آموزش دیده نمونه‌ها را ارزیابی کردند. اندازهٔ نمونه‌هایی که در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت از لحاظ وزنی و مکان بریده شده یکسان و ثابت بودند. در این آزمون، ارزیاب‌ها توسط یک مقیاس خطی به طول ۱۰۰میلیمتر، به شدت ویژگی‌های مورد نظر در نمونه‌ها، امتیاز صفر تا صد دادند (۳). صفت‌های مورد ارزیابی و نحوه توصیف آنها در جدول ۲ ارائه شده اند.

آزمون حسی هدونیک[6] پنج نقطه ای

هدف از انجام این آزمون حسی، تعیین میزان مقبولیت کلی نمونه‌ها توسط مصرف کنندگان بود. از ۱۵ ارزیاب آموزش ندیده برای انجام آزمون استفاده شد و از آنها خواسته شد که به نمونه‌ها، صفت‌های کلی لذت بخشی(هدونیک)، از بسیار ناخوشایند تا بسیار خوشایند بدهند. سپس این صفت‌ها به اعداد یک تا پنج تبدیل شدند.

تحلیل آماری

آزمون آماری بر اساس طرح کاملا تصادفی شامل ۶ تیمار (نمونه‌های شاهد فاقد صمغ، نمونه‌های حاوی۰/۱٪ و۰/۲٪پکتین به همراه GDL و نمونه‌های حاوی۰/۱٪ و ۰/۲٪ پکتین به همراه کلرید کلسیم) در ۳ یا ۴ تکرار در روشهای دستگاهی و حسی انجام شد. ابتدا آنالیز واریانس یک طرفه و سپس آزمون مقایسه میانگین‌ها از نوع دانکن در سطح معنی دار ۵٪ به منظور بررسی اختلاف بین تیمارها انجام پذیرفت. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS 14 و همچنین نرم افزار Excel 2007 انجام پذیرفت.

1- Hounsfield
2- Hunter Lab
3- Lightness Index
4- Yellowness Index
5- Descriptive
6- Hedonic

جدول۲ صفتهای مورد اندازه گیری در آزمون حسی توصیفی و نحوه اندازه گیری آنها

صفت (ویژگی)	درجه (صفر تا ۱۰۰)	روش ارزیابی
درجه ارتجاع (الاستیسیته)	غیرفنری فنری	فشار دادن بین دو انگشت
سفتی	نرم سفت	فشار دادن بین دو انگشت
شدت طعم تازگی	کهنه تازه	چشیدن و بوییدن
طعم شیرینی	غیر شیرین شیرین	چشیدن
طعم ترشی	غیر ترش ترش	چشیدن
رنگ	زرد کم رنگ قهوه ای	مشاهده بصری
درجه مرطوب بودن	خشک کاملا مرطوب	توسط انگشت و دهان

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی دانه و شیر سویا

بطورکلی هرچقدر رطوبت دانه سویا بالاتر باشد به این معناست که دانه دارای ماده خشک و پروتئین کمتری است و درنهایت راندمان استحصال تافوی نهایی پایین خواهد آمد. مطابق جدول ۳ ، دانه‌های مورد استفاده دارای درصد رطوبت مناسبی بودند و بنابراین می‌توان انتظار داشت که راندمان استحصال بالایی ازآن بدست آورد. ازخصوصیات مهم دانه سویا، رنگ پوسته آن است که اثر مستقیمی‌برروی رنگ تافو دارد. واریته‌هایی که دارای پوسته روشن هستند، مناسبترند چراکه تافویی روشن تولید می‌کنند. با درنظر گرفتن شرایط ذکر شده، مطابق جدول ۳ می‌توان چنین استنباط نمود که دانه‌های سویای با رنگ طلایی روشن، جهت تولید تافویی با رنگ روشن مناسبترند. ولی ازآنجاییکه جهت استخراج شیرسویا از دانه‌های با رنگ پوسته سیاه تا قهوه ای استفاده گردید (به علت در دسترس بودن این واریته سویا)، تافویی با رنگ زرد مایل به سفید تولید شد.

نتایج آزمون‌های انجام شده بر روی شیر سویا درجدول ۴ به اختصار ذکرگردیده که هریک از این فاکتورها نیز به نوبه خود در ویژگی‌های محصول نهایی تأثیر گذار است. بطورکلی هرچقدر ماده خشک شیر سویای استحصالی از دانه بالاتر باشد به این معناست که دارای محتوای پروتئین بالاتری است و درنهایت راندمان استحصال تافوی نهایی بالا تر خواهد بود. مطابق جدول۴ ، شیرسویای استحصال شده دارای درصد ماده خشک مناسبی بود و بنابراین انتظار می‌رود محصولی با راندمان استحصال بالا از آن بدست آید. هرچقدرمیزان پروتئین شیر سویا بیشتر باشد به مراتب راندمان تافو نیز افزایش می‌یابد. مطابق جدول ۴، شیر سویای حاصل دارای درصد پروتئین مناسبی جهت تولید تافو می‌باشد.

راندمان

همانطور که از جدول ۵ استنباط می‌شود، بین رطوبت در محصول نهایی و راندمان محصول نهایی رابطه مستقیمی وجود دارد. به عبارت دیگر، در تافوی حاصل از GDL نسبت به تافوی حاصل از کلرید کلسیم، رطوبت بیشتری در محصول نهایی وجود دارد بنابراین راندمان محصول نهایی نیز در نمونه‌های تافوی تولید شده به کمک GDL، بیشتر از نمونه‌های تولید شده به کمک $CaCl_2$ بود.

جدول۳ نتایج حاصل از آزمایشهای اولیهٔ دانه سویا و مقایسهٔ آن با استاندارد ایران

مشخصات نمونه	درصد رطوبت	درصد چربی	درصد پروتئین	درصد مواد خارجی	رنگ هلیوم	درصد شکستگی	تعداد در۱کیلوگرم
دانه سویا	۱۲/۳۵	۱۵	۳۵/۱۶	۰/۱	سیاه طلایی	۳/۱۰	۵۳۳۰
استاندارد دانه سویا	۹ ـ۱۳	۱۳ ـ۱۸	۳۵ ـ۴۲	حداکثر ۱٪	طلایی قهوه ای	حداکثر۱۰	حداکثر ۶۰۰۰

جدول ٤- نتایج حاصل از آزمایشهای اولیهٔ شیر سویا و مقایسهٔ آن با استانداراد ایران

مشخصات نمونه	درصد رطوبت	درصد مادهٔ خشک	درصد چربی	درصد پروتئین درمادهٔ خشک	pH
شیر سویا	۹۳	۶/۱	۱	۳/۳۶	۷/۰۳
استاندارشیر سویا	۹۵	۵ ـ۷	۰/۷ ـ۱/۵	حداقل ۲/۵	۶/۵ ـ۷/۵

افزودن پکتین در تافوهای تولید شده به کمک هر دو منعقد کننده، موجب افزایش راندمان گردید و در بین فرمولاسیون‌های حاوی هیدروکلوئید، فرمولاسیون‌های حاوی $CaCl_2$، بیشترین راندمان را نشان دادند و این نشان می‌دهد که استفاده از ژل دهنده‌های مناسب مانند هیدروکلوئیدها، باعث تشکیل شبکهٔ ژلی مناسبی در بافت محصول نهایی می‌شود که منجر به نگهداری آب بیشتر در ساختار تافوی نهایی و کاهش میزان آب از دست رفته در حین فشردن و در نتیجه افزایش وزن محصول می‌گردد. افزایش بیشتر غلظت پکتین تأثیر زیادی در افزایش راندمان محصول نهایی نشان داد به عبارت دیگر، افزایش هیدروکلوئید پکتین به غلظت ۰/۲٪ منجربه افزایش بیشتر راندمان در تافو گردید. علاوه بر آن در بین نمونه‌های فاقد هیدروکلوئید، تافوی تولید شده به کمک GDL دارای محتوای پروتئینی بیشتری نسبت به نمونه تولید شده به کمک $CaCl_2$ بود و با افزودن پکتین به تافوی حاصل از $CaCl_2$، محتوای پروتئینی افزایش یافتت که نشان دهنده گسترش شبکه ژلی مناسب در ساختار تافو می‌باشد ولی این افزایش در نمونه‌های تولید شده به کمک GDL مشاهده نشد. در pHهای بالای نقطه ایزوالکتریک به علت بار منفی پروتئین‌ها، یون‌های کلسیم می‌توانند بین گروه‌های کربوکسیل پروتئین‌ها و زنجیرهای پکتین پل‌های عرضی ایجاد کنند. این موضوع باعث افزایش شرکت پروتئین در شبکه پروتئینی، تشکیل جفت شبکه پروتئینیِ پلی ساکاریدی و استحکام شبکه می‌گردد که به نوبه خود شبکه وسیع تری را ایجاد می‌نماید که باعث حفظ بیشتر آب و کاهش آب اندازی می‌گردد. البته اتصال بین پروتئین‌ها و پلی ساکاریدها می‌تواند بدون دخالت یون‌های فلزی نیز انجام شود و وجود یون‌های فلزی اینکار راتسریع می‌کند. برای تولید تافو توسط GDL، باید pH شیر سویا حتماً به نقطه ایزوالکتریک پروتیئن‌های سویا رسانده شود تا ژل سویا تشکیل شود که به احتمال زیاد از ایجاد شبکه‌های ژلی مخلوط شامل شبکه پروتئینی و شبکه پلی ساکاریدی جلوگیری می‌کند. به همین دلیل افزودن پکتین تأثیر چندانی در افزایش راندمان تافوی تولید شده توسط GDL ندارد.

جدول۵ تأثیر نمک‌های منعقدکننده و هیدروکلوئیدها در ویژگی‌های تافو

نمونه‌ها	راندمان	رطوبت	pH	درصد پروتئین
GDL	۱۶۰/۱±۰/۳۲	۸۰/۴۶±۰/۴۶	۴/۷۷±۰/۰۶	۱۱/۴۶±۰/۲۴
با۰/۱٪پکتینGDL	۱۶۶/۸۳±۰/۵۳	۶۶/۳±۰/۳۲	۴/۵۷±۰/۰۳	۱۰/۵۷±۰/۰۱
با ۰/۲٪ پکتینGDL	۱۶۸/۶±۰/۷۱	۷۰/۴±۰/۸۱	۴/۷۶±۰/۰۲	۱۱/۱۶±۰/۰۵
کلرید کلسیم	۱۵۲/۰۶±۰/۹۲	۷۸/۴۶±۰/۶۱	۵/۷۲±۰/۰۲	۱۰/۸۷±۰/۰۱
کلریدکلسیم با۱ /۰٪ پکتین	۱۷۲ /۴±۰/۹	۷۸/۳±۰/۳۳	۵/۶۳±۰/۰۴	۱۱/۰۶±۰/۰۸
کلریدکلسیم با۰/۲٪ پکتین	۱۸۱ /۳±۰/۲۲	۸۴/۸۶±۰/۲۶	۵/۵۷±۰/۰۷	۱۱/۹۲±۰/۰۷

جدول٦ نتایج حاصل از رنگ سنجی توسط دستگاه رنگ سنج‌هانترلب

تیمارها (نمونه‌ها)	L^*	a^*	b^*	اندیس زردی (YI)	(ΔE)
GDL	۷۰/۵۵±۰/۷a	۲/۰۵±۰/۴۶a	۱۳/۶۹± ۰/۰۸a	۰/۳۲± ۰/۰۹a	۰(۰)
$CaCl_2$	۷۰/۲۸±۰/۹۵a	۱/۸۲±۰/۴a	۱۴/۰۲±۰/۱۳a	۰/۳۳±۰/۰۶a	۵/۰۴±۰/۰۵d
باGDL ۰/۱٪ پکتین	۷۱/۵۸±۰/۷۶a	۲/۰۵±۰/۲۱a	۱۳/۱±۰/۱b	۰/۳۲±۰/۰۲a	۴/۶۵±۰/۲۱d
$CaCl_2$ با۰/۱٪پکتین	۷۳/۴۹±۰/۸۹b	۱/۳۹±۰/۲۵b	۱۲/۸۱±۰/۱۲c	۰/۲۵±۰/۰۳c	۵/۲۹±۰/۰۳c
GDL با ۰/۲٪ پکتین	۷۲/۳۶±۰/۹۱a	۲/۰۳±۰/۳a	۱۳/۱۵±۰/۱۲b	۰/۳۰±۰/۰۳b	۵/۶۷±۰/۰۳d
$CaCl_2$ با ۰/۲٪پکتین	۷۷.۵۲±۰/۷۹b	۱/۴۶±۰/۲۵b	۱۳/۲۶±۰/۰۹b	۰/۲۲±۰/۰۲c	۶/۶۷±۰/۰۳a

رنگ

در این آزمون، تمامی تیمارها ۲۴ ساعت بعد ازتولید نمونه برداری شده و تحت آزمون رنگ سنجی قرار گرفتند. نتایج حاصل از این آزمون درجدول۶ ارائه شده اند. با توجه به نتایج جدول ۶، تافوهای فاقد هیدروکلوئید تولید شده به کمک GDL و $CaCl_2$ ، از نظر فاکتور*L ، تفاوت معنی داری نداشتند و این نشان دهندهٔ عدم تأثیر نوع منعقد کننده در میزان روشن بودن رنگ محصول تافوی نهایی است.

افزودن هیدروکلوئید پکتین، موجب افزایش فاکتور L در نمونه‌ها گردید و این افزایش در تافوهای حاوی $CaCl_2$ نسبت به نمونه‌های حاوی GDL بیشتر بود. از آنجایی که افزایش شدت روشنایی (سفید بودن) در تافو، تغییری مثبت تلقی می‌شود می‌توان گفت که پکتین موجب بهبود کیفیت ظاهری تافو گردید. به نظر می‌رسد که شرکت پکتین در شبکه و گیر انداختن بیشتر آب موجب افزایش شفافیت و روشنایی تافو می‌گردد. در میان فرمولاسیون‌های مختلف، نمونه‌های تولید شده به کمک $CaCl_2$ + ۰/۲٪ پکتین بالاترین شدت سفیدی را نشان دادند.

فاکتور a^* پارامتری است که مقادیر آن از منفی برای ته رنگ سبز تا مثبت برای ته رنگ سرخ متغیر است، افزودن هیدروکلوئید پکتین در نمونه‌های تهیه شده به کمک $CaCl_2$ موجب کاهش معنی دار فاکتور a گردید. این بدین معنی است که افزودن پکتین موجب کاهش ته رنگ سرخ در نمونه‌های تافو تهیه شده به کمک $CaCl_2$ گردید. مطابق تحقیقات عبدکریم و همکاران (۳) افزودن کاراگینان موجب افزایش مقادیر پارامتر a در تافوی تولید شده به کمک سولفات کلسیم و کاهش آن در تافوی تولید شده توسط GDL گردید. ولی در تافوی تولید شده توسط کلرید کلسیم اثر معنی داری نداشت. این نشان دهنده وجود بر همکنش بین اثر کاراگینان و نوع منعقد کننده می‌باشد.

فاکتور b^* پارامتری است که از مقادیر منفی برای ته رنگ آبی تا مقادیر مثبت برای ته رنگ زرد متغیر است. هیدروکلوئید به کار رفته در غلظت‌های ۰/۱٪ و ۰/۲٪ باعث شد که به جز در مورد نمونه GDL + ۰/۲٪ پکتین، مقدار b^* به صورت معنی‌داری نسبت به نمونه‌های شاهد کاهش یابد. این بدین معنی است که افزودن هیدروکلوئید پکتین موجب کاهش میزان زردی نمونه‌ها شد که در تافو مطلوب تلقی می‌شود. داده‌های اندیس زردی نیز کاهش زردی تافو را تایید می‌کند.

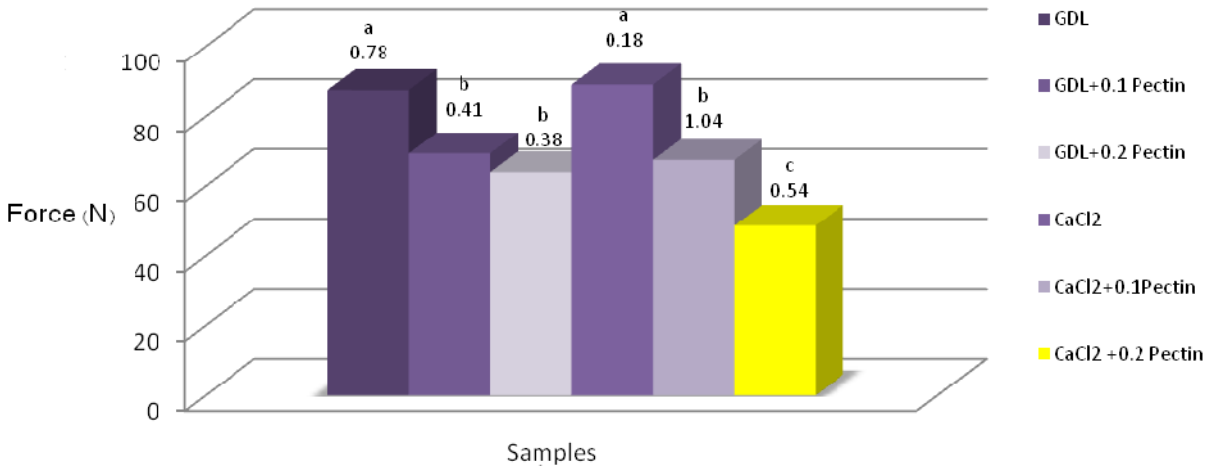
فاکتور ΔE اختلاف رنگ کلی را نشان می‌دهد. نمونه حاوی ۰/۲٪ پکتین + $CaCl_2$، به طور معنی داری اختلاف رنگ بیشتری را نسبت به نمونهٔ شاهد و سایر نمونه‌ها نشان داد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به نتایج مندرج در جدول ۶، افزودن هیدروکلوئید پکتین در غلظت ۰/۲ ٪ در تافوی به دست آمده از ماده منعقد کننده $CaCl_2$ ، روشن ترین نمونه‌ها را به دست داده و بیشترین اختلاف رنگ را نسبت به نمونهٔ شاهد در محصول نهایی ایجاد کرده است.

بافت

طبق نتایج مندرج در شکل (۱)، در یک روز پس از تولید، در مقایسه بین دو نمونهٔ شاهد (نمونه‌های فاقد هیدروکلوئید)، نیروی لازم برای فشردن نمونهٔ حاوی $CaCl_2$ از نمونهٔ حاوی GDL بیشتر بود و یا به عبارت دیگر سفتی بافت آن بالاتر بود، اگرچه این اختلاف معنی دار نبود. همانطور که ذکر شد، ژله ای شدن بافت غذاهای پروتئینی از طریق دناتوره شدن پروتئین‌ها صورت می‌گیرد که در طی این فرآیند، نواحی آبگریز مولکول‌های پروتئین در مجاورت یکدیگر قرارگرفته و به هم نزدیک می‌شوند. همچنین، واکنش بین پروتئین‌های سویا با یونهای مثبت موجود در محیط (که حاصل از مادهٔ منعقد کننده مورد استفاده در فرمولاسیون تشکیل لخته می‌باشند) که موجب کاهش نیروی دافعه بین زنجیرها می‌شود، عامل مهمی‌در ایجاد ساختار ژله ای و ایجاد بافت تافو می‌باشد. تشکیل شبکهٔ ژلی پروتئینی گسترده تر، نگهداری آب بیشتری را در فرمولاسیون به همراه دارد که منجر به کاهش سفتی بافت می‌شود (۱۵). افزودن هیدروکلوئید پکتین در هر دو غلظت، موجب کاهش نیروی شکست نمونه‌ها گردید که این کاهش در نمونه حاوی $CaCl_2$ + ۰/۲٪ پکتین و بعد از آن نمونه $CaCl_2$ + ۰/۱٪ پکتین بیشتر نمود پیدا کرد. احتمالاً افزودن هیدروکلوئید به تافو باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در نمونه‌ها شده و بافت را به مراتب نسبت به نمونه‌های شاهد نرمتر کرد. چنانچه در میان زنجیرهای پروتئینی، مولکولهای پلی ساکارید با بارهای مخالف قرار بگیرند، احتمالاً در اثر واکنش بین پروتئین و پلی ساکارید، شبکه ژله ای گسترده تری ایجاد می‌شود و آب بیشتری در شبکه پروتئینی گیر می‌افتد (۱۱). این موضوع در تطابق با برخی پژوهشهای پیشین قرار داشت. طبق نتایج حاصل از تحقیق انجام شده توسط عبدکریم و همکارانش (۳)، معمولاً بین میزان افرودن هیدروکلوئید کاراگینان در فرمولاسیون تافوها (تولید شده به کمک نمک‌های سولفات کلسیم و استات کلسیم) و سختی بافت رابطه معکوس وجود داشت، بطوریکه با افزایش غلظت هیدروکلوئید میزان سختی بافت کاهش یافت. مطابق بررسی‌های این محققین، کاراگینان در تافوی به دست آمده از سولفات کلسیم منجر به کاهش سختی بافت بیشتری گردید. همچنین، سانچز و همکارانش (۱۸) با بررسی اثر صمغهای زانتان، گوار و آلژینات بر ویژگی‌های رئولوژیکی ژل پروتئینهای سویا، دریافتند که صمغ زانتان به دلیل قابلیت بالایی که در جذب و نگهداری آب داراست در اثر واکنش با پروتئینهای موجود در سویا، خاصیت ظرفیت نگهداری آب[1] (WBC) را در بافت پروتئینی افزایش می‌دهد که به نوبهٔ خود، این امر باعث بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی مطلوب در محصولات پروتئینی سویا و افزایش راندمان و

1- Water Binding Capacity

بازده این محصولات می‌گردد.



شکل۱ سفتی برای فرمولهای مختلف تافو

ستون‌های با حروف مختلف در سطح ۰/۵ درصد، اختلاف معنی داری دارند. اعداد بالای ستونها مربوط به انحراف معیار هستند.

به نظر می‌رسد که با افزودن هیدروکلوئیدها به علت افزایش گروه‌های OH و دیگر گروه‌های آبدوست در بافت، جذب آب در بافت بیشتر می‌شود وشبکه پروتئینی می‌تواند در حین تشکیل لخته، آب بیشتری را درخود نگهداری کرده و منجر به نرمی و لاستیکی شدن بافت تافوی نهایی شود. لازم به ذکر است که آب به علت کوچک بودن مولکولهایش، به عنوان نرم کننده (پلاستی سایزر) برای بسیاری بیو پلیمرها عمل می‌کند و موجب افزایش انعطاف پذیری می‌شود.

خواص حسی توصیفی

آزمون حسی توصیفی با استفاده از مقیاس خطی ۰تا ۱۰۰ انجام گرفت (صفر برای حداقل و ۱۰۰برای حداکثر شدت یک صفت). مطابق نتایج ارائه شده در جدول ۷، در یک روز پس از تولید، نمونه‌های تهیه شده به کمک $CaCl_2$ سفتی بیشتری را نسبت به تافوهای حاوی GDL نشان دادند. افزودن هیدروکلوئید پکتین در هر دو غلظت، موجب کاهش سفتی تافوهای حاصل گردید و نمونه‌های حاوی ۰/۲٪ پکتین + $CaCl_2$ به صورت معنی دار، کمترین سفتی را نشان دادند. همچنین افزودن پکتین موجب کاهش الاستیسیته و افزایش تاز گی و رطوبت تافوهای حاصل شد.

درمورد شدت رنگ و شدت طعم ترشی و شیرینی، افزودن هیدروکلوئید موجب نتایج متفاوتی در نمونه‌های حاوی GDL و $CaCl_2$ گردید.

پذیرش کلی

برای تعیین مقبولیت کلی نمونه‌ها، از مقیاس هدونیک ۵ طبقه ای (از بسیار خوشایند تا بسیار نا خوشایند) استفاده شد. عدد یک به صفت بسیار ناخوشایند و عدد پنج به بسیار خوشایند داده شد. میانگین امتیازات ارائه شده توسط ۱۰ نفر ارزیاب آموزش دیده، در جدول ۸ ارائه شده اند. بطورکلی نمونه‌های فاقد هیدروکلوئید مقبولیت حسی بالاتری نشان دادند، ولی این تفاوت در اکثر نمونه‌ها جزئی و غیر معنی دار بود. نتایج نشان می‌دهد که افزودن پکتین به جز در مورد نمونه حاوی GDL + ۰/۲٪ پکتین، باعث کاهش معنی داری در مقبولیت نمونه‌ها نشد. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن هیدروکلوئید پکتین در عین حال که موجب افزایش کیفیت بافتی و راندمان محصول نهایی و در نتیجه کاهش قیمت و تافوی حاصل می‌شود، تأثیر چشمگیری بر مقبولیت حسی محصول نهایی ندارد.

نتیجه گیری

افزودن هیدروکلوئید پکتین اثرات مثبتی بر راندمان و ویژگیهای فیزیکی و حسی تافو نشان داد. این اثرات به میزان پکتین مورد استفاده و همچنین نوع ماده منعقد کننده نیز بستگی داشت. در این تحقیق نشان داده شد که پکتین موجب اثرات مطلوب بیشتری در نمونه‌های تولید شده توسط $CaCl_2$ می‌گردد. نوع منعقد کننده در میزان روشن و شفاف بودن رنگ محصول تافوی نهایی تأثیر معنی داری نداشت، ولی افزودن پکتین موجب افزایش فاکتور روشنایی در نمونه‌ها گردید و این افزایش در تافوهای حاوی $CaCl_2$ نسبت به نمونه‌های حاوی GDL بیشتر بود. آزمون بافت سنجی نشان دادکه

سفتی نمونه شاهد حاوی $CaCl_2$ از نمونه شاهد حـاوی GDL بیشـتر بود و افزودن هیدروکلوئید پکتین در هـر دو غلظـت، موجـب کـاهش سفتی نمونه‌ها گردید.

جدول۷ نتایج آزمون حسی توصیفی، یک روز پس از تولید

صفت	میانگین امتیاز داده شده به تیمارها					
	GDL	٪۰/۱+ GDL پکتین	٪۰/۲+GDL پکتین	$CaCl_2$	٪۰/۱+ $CaCl_2$ پکتین	٪۰/۲+ $CaCl_2$ پکتین
سفتی	۶۱±۳/۵۷b	۳۹/۳۳±۲/۲۵d	۴۶±۳/۲۲c	۶۹/۳۳±۱/۸۶a	۴۸/۰۲±۳/۵۷c	۳۸/۶۶±۲/۸۷d
شدت تازگی	۶۶/۳۳±۴۴/۹۲a	۶۰/۶۶±۵/۴۶a	۶۵±۳/۲۲a	۶۰/۳۲/±۰/۸۹a	۷۵/۳۳±۴/۰۳b	۸۳/۳۳±۱/۸۶b
الاستیسیته	۸۱/۳۳±۳/۴b	۶۱/۷۶±۳/۱۲a	۶۳/۳۹±۱/۰۶a	۷۹/۳۳±۲/۸۲b	۵۱/۶۶±۲/۷۳a	۶۱/۳۳±۲/۸۷a
طعم ترشی	۹/۸۳±۱/۳۶b	۷/۹۳±۱/۵۱b	۷/۷۶±۱/۷۶b	۰±۰a	۰±۰a	۰/۲۳±۰/۳۱a
طعم شیرینی	۴۵/۶۶±۴/۵۸a	۴۲/۶۶±۴/۴۱a	۴۶/۶۶±۲/۷۳a	۶۲/۴۰±۲/۲۵b	۵۵±۴/۰۹a	۷۲/۰۵±۲/۰۵c
شدت رنگ	۷۰/۶۶±۶/۵۹a	۶۷±۴/۲۷a	۶۶/۰۳±۱/۱۵a	۷۰/۳۳±۱/۳۶a	۸۰±۳/۰۲b	۹۴/۶۶±۲/۰۵c
مقدار رطوبت	۷۳/۴۵±۶/۰۴a	۶۹/۹۷±۱/۸۷c	۷۵/۰۳±۲/۹۴a	۷۸/۳۳±۱/۰۵a	۷۷±۲/۰۳a	۸۹/۳۳±۳/۰۴b

اعداد داخل پرانتز، انحراف معیار حاصل از شش تکرارمی‌باشند که به همراه میانگین داده‌ها داده شده اند. نمونه‌های با حروف مختلف که در یک ردیف یا سطر واقع شده اند در سطح ۵٪، اختلاف معنی داری دارند.

جدول ۸- نتایج حاصل از آزمون حسی هدونیک

نمونه‌ها	امتیاز داده شده
GDL	۴/۸۳±۰/۷۱a
GDL + ٪۰/۱ پکتین	۴/۶۶±۰/۴۹a
GDL + ٪۰/۲ پکتین	۴/۳۳±۱/۰۴b
$CaCl_2$	۴/۷۶±۰/۸۸a
$CaCl_2$ +٪۰/۱ پکتین	۴/۵۲±۰/۶۲a
$CaCl_2$ +٪۰/۲ پکتین	۴/۹۸±۰/۹۸a

اعداد داخل پرانتز، انحراف معیار حاصل از شش تکرارمی‌باشند که به همراه میانگین داده‌ها داده شده اند.
نمونه‌های با حروف مختلف که در یک ستون واقع شده اند در سطح ۵٪، اختلاف معنی داری دارند.

منابع

۱- فاطمی ح. ۱۳۸۱. شیمی مواد غذایی، شرکت سهامی انتشار، صفحات۲۵۲ تا۲۶۰.

۲- قنبرزاده ب. ۱۳۸۸. مبانی رئولوژی مواد و بیو پلیمرهایی غذایی ، انتشارات دانشگاه تهران.

3- Abd Karim, A., Sulebele, G.A., Azhar, M.E., Ping, C.Y. 1999. Effect of Carrageenan on yield and properties of Tofu. Food Chemistry, 66, 159-165.

4- Alvarez, P., Ramaswamy, H., Ismail, A. 2008. High pressure gelation of soy proteins: Effect of concentration, pH and additives. Journal of Food Engineering, 88, 331–340.

5- American Association of Cereal Chemists. 2000. Approved Methods of the AACC, Methods 55-10, 44-15, 24-46, 09-07, 30-25, 10th Ed.; The Association: St. Paul., Minnesota.

6- Baeza, R.I., Carp, D.J., Perez, O.E., Pilosof, A.M.R. 2002. k-Carrageenan Protein Interactions: Effect of Proteins on Polysaccharide Gelling and Textural Properties. Lebensm.-Wiss. u.-Technol. 35, 741–747.

7- Braga, A., Azevedo, A., Marques, M., Menossi, M., Cunha, R. 2006. Interactions between soy protein isolate and xanthan in heat-induced gels: The effect of salt addition. Food Hydrocolloids, 20, 1178–1189.

8- Campbell, L., Gu, L., Dewar, S., Euston, S. 2009. Effects of heat treatment and glucono-d-lactone-induced acidification on characteristics of soy protein isolate. Food Hydrocolloids, 23, 344– 351.

9- Carp, DJ., Bartholoma, GB., Relkin, P., Pilosof, A.M.R. 2001. Effects of denaturation on soy protein–xanthan

interactions: comparison of a whipping–rheological and a bubbling method. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 21, 163–171.
10- Chang, K.C., Hou, H.G. 1997. Science and technology of Tofu making. Food science and technology, 24, 443-478.
11- Chang, K.L.B., Lin, Y.S., Chen, R.H. 2003. The effect of chitosan on the gel properties of tofu (soybean curd). Journal of Food Engineering. 57, 315-319.
12- Chang, Y., Su, H., Shiau, S. 2009. Rheological and textural characteristics of black soybean Tofu (soft soybean curd) prepared with glucono-d-lactone. Food Chemistry, 40, 1–7.
13- Cruz, N.S., Capellas, M., Jaramillo, D.P., Trujillo, A.J., Guamis, B., Ferragut, V. (2009). Soymilk treated by ultra high-pressure homogenization: Acid coagulation properties and characteristics of a soy-yogurt product. Food Hydrocolloids, 23, 490– 496.
14- Dybowska, B.E., Fujio, Y. 1998. Optical analysis of glucono-&lactone induced soy protein Gelation. Journal of Food Engineering, 36, 123-133.
15- Fukushima, D. 2004. Soy proteins. Food Research International, 45, 1-23.
16- Golbitz, P., Jordan, J. 2006. Soyfoods: Market and Products, Taylor & Francis Group Publishing.
17- Hua, Y., Cui, S., Wang, Q. 2003. Gelling property of soy protein–gum mixtures. Food Hydrocolloids, 17, 889–894.
18- Sainchez, V.E., Bartholomai, G.B., Pilosof, A.M.R. 1995. Rheological properties of food gums their water binding capacity and to interaction as related to soy protein. LWT Food Science and Technology, 28, 380-385.