مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۰، صفحات ۵۸-۴۹

بررسی خواص عملگر و حرارتی کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا

آرتیمس عامری شهرابی[۱]، فوژان بدیعی[۲]، محمدرضا احسانی[۳]، ندا مفتون‌آزاد[۴]، دریادخت سرمدی زاده[۱]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران
۲- نویسنده مسئول: استادیار بخش تحقیقات مهندسی صنایع غذایی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، ایران
پست الکترونیکی: fjbadii@gmail.com
۳- استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، ایران
۴- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، ایران

تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۰/۲/۶

چکیده

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، دانه نخود به عنوان منبع خوب پروتئینی مورد توجه قرار گرفته است. محصولات پروتئینی نخود نظیر آرد، کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود به عنوان مکمل غذایی عملگر می‌توانند جایگزین مناسبی برای پروتئین سویا باشند. این تحقیق با هدف اندازه‌گیری خواص عملگر و حرارتی فراورده‌های پروتئین نخود و مقایسه آن با کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق، کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود با استفاده از روش استخراج قلیایی و ترسیب اسیدی در نقطه ایزوالکتریک تهیه شد. ترکیبات شیمیایی (پروتئین، چربی، خاکستر، فیبرخام و رطوبت)، خواص عملگر (جذب آب، جذب چربی، ژله‌ای شدن و قدرت تشکیل کف و پایداری آن) و ویژگی‌های حرارتی (دمای انتقال شیشه‌ای و دمای دناتوره شدن) کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود تعیین و با فراورده‌های پروتئین سویا مقایسه شد.

یافته‌ها: مقدار پروتئین کنسانتره و ایزوله پروتئینِ به دست آمده از آرد چربی گرفتهٔ نخود به ترتیب ۸۰٪ ، ۸۸/۶٪ و کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا به ترتیب ۸۳/۱٪ و ۹۰/۲٪ بود. از نظر جذب آب و چربی تفاوت معنی‌داری بین پروتئین سویا و نخود مشاهده نشد. میزان تشکیل ژل و کف تمام نمونه‌ها با افزایش غلظت پروتئین افزایش یافت. ولی قدرت تشکیل کف پروتئین سویا به طور معنی‌داری بیش از پروتئین نخود بود ($P\leq ۰/۰۱$). ایزوله پروتئین سویا و نخود ساختار نیمه‌بلوری داشتند و پایداری حرارتی پروتئین سویا بیش از نخود بود.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود از نظر برخی خواص عملگر، مشابه پروتئین سویا هستند. ارزش تغذیه‌ای بالا و خواص عملگر خوب فراورده‌های پروتئین نخود، آن‌ها را ترکیبات بسیار ارزشمندی می‌سازد که می‌توانند جایگزین سایر پروتئین‌ها در مواد غذایی شوند.

واژگان کلیدی: کنسانتره پروتئین نخود، ایزوله پروتئین نخود، خواص عملگر، خواص حرارتی، پروتئین سویا

• مقدمه

گیاه نخود، مقاوم به خشکی و طالب روزهای بلند و معتدل است(۱) و یکی از بقولات خوراکی است که در بین حبوبات بیشترین سطح زیر کشت را در ایران دارد. بر اساس گزارش آمارنامه کشاورزی در ایران در سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ سطح زیر کشت و میزان تولید کل نخود به ترتیب ۵۶۰۱۹۱ هکتار و ۲۰۸۹۱۳ تن بوده است (۲). کنسانتره پروتئین حاوی حداقل ۷۰ درصد پروتئین بر پایه وزن خشک است که از آرد بدون چربی از طریق خارج سازی قندهای محلول، فیبر و ترکیبات جزئی به وسیله محلول‌های الکلی آبی یا اسیدی رقیق در pH=۴-۴/۸ به دست می‌آید. ایزوله پروتئین حدود ۹۰ درصد پروتئین بر پایه وزن خشک دارد. ایزوله در مقایسه با کنسانتره پروتئین تحت تأثیر مراحل تصفیه بیشتری قرار می‌گیرد تا پلی ساکاریدها، قندهای محلول و سایر ترکیبات جزئی آن‌ها نیز استخراج شود (۳).

Sanchez-Vioque و همکاران در سال ۱۹۹۹ پروتئین نخود را استخراج و ترکیب شیمیایی، خواص عملگر و ویژگی‌های پروتئین آن را بررسی کردند. آن‌ها دو نوع ایزوله

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

پروتئین (با و بدون استفاده از سولفیت سدیم) از دانه‌های نخود به روش استخراج قلیایی و سپس رسوب دادن اسیدی آن‌ها در نقطه ایزو الکتریک ۴/۳ به دست آوردند. درصد پروتئین به دست آمده از آرد نخود تهیه شده در ایزوله‌ها به ترتیب ۸۸/۱٪ و۸۷٪ بود. خواص عملگر و ترکیب پروتئین آرد نخود و ایزوله‌های پروتئین تعیین شد. این فراورده‌های پروتئینی محتوای متعادلی از اسیدهای آمینه ضروری داشتند. آن‌ها پیشنهاد کردند که از ایزوله‌های پروتئین نخود می‌توان برای آماده سازی محصولاتی نظیر پنیر، نان و گوشت به دلیل افزایش جذب آب و چربی استفاده کرد. ایزوله‌های پروتئین نخود را می‌توان در فراورده‌هایی نظیر فرانکفورتر و خامه نیز که تشکیل امولسیون در آن‌ها مهم است، به کار برد (۴).

کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا به دو روش سنتی و تکنولوژی غشایی توسط *علیبهایی* و همکاران در سال ۲۰۰۵ تولید شد. تهیه کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا با روش ترسیب اسیدی معمول، اولترافیلتراسیون، الکترواسیدیفیکاسیون (electro acidification) و روش جدید (ترکیبی از الکترواسیدیفیکاسیون – اولترافیلتراسیون) بررسی شد. نتایج نشان داد که در روش جدید ویژگی حلالیت پروتئین بهبود می‌یابد (۳).

خصوصیات تشکیل ژل ایزوله‌های پروتئین نخود توسط *Zhang* در سال ۲۰۰۶ بررسی شد. وی نشان داد که ایزوله پروتئین نخود در pHهای مختلف و در حضور نمک‌های کلسیم و سدیم رفتارهای رئولوژیکی متفاوتی دارد. همچنین افزودن کلرید کلسیم در مقایسه با کلرید سدیم، استحکام ژله‌ای به دست آمده را بیشتر می‌کند و واکنش‌های الکترواستاتیکی پروتئین – پروتئین را در جهت تشکیل ساختار شبکه‌ای ژل مانند تسهیل می‌کند(۵).

Kaur و *Singh* در سال ۲۰۰۷ در هند از ارقام مختلف نخود فرنگی به روش استخراج قلیایی و رسوب‌دهی در نقطه ایزوالکتریک و خشک کردن به روش انجمادی ایزوله پروتئین تهیه کردند. ایزوله‌های پروتئین تهیه شده از نقطه نظر خواص عملگر نظیر توانایی جذب آب و روغن، حداقل غلظت ژله‌ای شدن، توانایی تشکیل ژل و پایداری مورد ارزیابی قرار گرفتند. ایزوله‌های پروتئین تهیه شده از واریته‌های مختلف نخود از نظر خواص عملگر تفاوت‌های قابل توجهی داشتند (۶).

اثر روش‌های آماده سازی بر خواص فیزیکی‌شیمیایی و تشکیل ژل ایزوله پروتئین نخود توسط Papalamprou در سال ۲۰۰۹ مورد بررسی قرار گرفت. به این ترتیب که ایزوله پروتئین از آرد دانه‌های نخودِ چربی گرفته به دو روش استخراج قلیایی و سپس رسوب‌دهی در نقطه ایزوالکتریک و دیگری به وسیله استخراج پروتئین در محیط نیمه‌اسیدی و فرایند اولترافیلتراسیون تهیه شد. مشخص شد که رفتار ژل ایزوله پروتئین نخود به طور عمده به روش تهیه آن وابسته است (۷).

در این تحقیق، کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود با استفاده از روش استخراج قلیایی و ترسیب اسیدی در نقطه ایزوالکتریک تهیه شد. به منظور یافتن کاربردهای صنعتی مناسب برای این محصولات، خواص عملگر و حرارتی فراورده‌های پروتئین نخود اندازه‌گیری و با کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا مقایسه شد.

• مواد و روش‌ها

مواد: دانه نخود (رقم آرمان) از کرمانشاه و لوبیای سویا (گونه DPX) از گرگان (*شرکت دانه‌های روغنی*) تهیه شد. محلول n- هگزان با درجه خلوص بیش از ۹۵٪ (M = ۸۶/۱۸ گرم بر مول و اسید آزاد کمتر از ۰/۰۰۰۵٪)، سود جامد، اسید کلریدریک غلیظ، اسید سولفوریک غلیظ، اسید بوریک، اسید سولفوسالسیلیک، معرف برموکروزول و اتانول از شرکت Merck تهیه شدند.

تهیه آرد بدون چربی از دانه نخود: پس از تمیز کردن و حذف دانه‌های چروکیده، کپک زده و اجزای خارجی، دانه‌های تمیز توسط دستگاه آسیاب چکشی صنعتی (شرکت Retsch ، کشور آلمان) به آرد کامل تبدیل شد و آرد کامل با الک با مش ۳۰ الک شد. آرد نخود بدون چربی از آرد کامل به روش استخراج سرد با حلال n- هگزان با درجه خلوص بالا(بیش از ۹۵٪) تهیه و در آون خلأ در دمای محیط حلال‌زدایی شد (۷، ۶).

تهیه کنسانتره پروتئین نخود (PPC): کنسانتره پروتئین نخود از آرد نخود بدون چربی با استفاده از استخراج قلیایی و رسوب‌دهی اسیدی تهیه شد. ۱۰۰گرم آرد حاصل به نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر مخلوط شد و به کمک محلول سود ۱ نرمال (تهیه شده از سود پرک) به pH=۱۰ رسانده شد. این سوسپانسیون به مدت ۱ ساعت روی همزن مخلوط و با استفاده از سانتریفوژ با دور ۳۰۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

دقیقه سانتریفوژ شد. محلول شفاف رویی جدا شد و با استفاده از اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال به pH= ۴/۳ (pH ایزوالکتریک پروتئین نخود) رسانده شد. این سوسپانسیون نیز به مدت ۱ ساعت روی همزن به طور کامل مخلوط و با استفاده از سانتریفوژ با دور ۳۰۵۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ شد. رسوب حاصل با استفاده از آب شسته و pH آن به حدود ۷ رسانده شد. کنسانتره مرطوب نخود با ازت مایع بلافاصله منجمد و با استفاده از خشک‌کن انجمادی (شرکت Operon ، کشور کره) خشک شد و در ظروف دردار در دمای ۱۸°C- نگهداری شد (۶).

تهیه ایزوله پروتئین نخود(PPI): PPI دقیقاً مانند کنسانتره نخود تهیه شد؛ با این تفاوت که مراحل استخراج قلیایی و رسوب اسیدی دوباره تکرار شدند و در نهایت، رسوب پروتئینیِ به دست آمده با استفاده از آب مقطر شست و شو داده شد تا pH به حدود ۷ رسید. ایزوله مرطوب نخود با ازت مایع بلافاصله منجمد و با استفاده از خشک‌کن انجمادی خشک و در ظروف دردار در فریزر در (۱۸ °C-) نگهداری شد (۸، ۶).

تهیه فراورده‌های پروتئین سویا: کنسانتره (SPC) و ایزوله پروتئین سویا (SPI) مطابق روش‌های ارائه شده برای فراورده‌های پروتئین نخود تهیه شدند.

تعیین ترکیب شیمیایی: رطوبت نمونه‌ها (آرد کامل، کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا) در آون خلأ در دمای ۷۰°C در سه تکرار مطابق روش استاندارد AOAC اندازه‌گیری شد(۹). میزان چربی به روش سوکسله با حلال n- هگزان، میزان پروتئین به روش کلدال (۶/۲۵ × N)، خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰°C-۵۰۰ و فیبر خام نمونه‌ها به روش هضم اسید- قلیا مطابق استاندارد AOAC در سه تکرار اندازه‌گیری شد(۹).

اندازه‌گیری خواص عملگر کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا :

میزان جذب آب: ۰/۳ گرم نمونه (نخود و سویا) در ۲۵ml آب مقطر مخلوط شد و در لوله سانتریفوژی که از قبل به وزن ثابت رسیده بود، به مدت ۵ دقیقه به هم زده و به مدت ۳۰ دقیقه در حال سکون قرار داده شد. سپس به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفوژ (۳۰۰۰g) شد. محلول رویی جدا شد و رسوب باقی‌مانده به مدت ۲۵ دقیقه در دمای ۵۰°C قرار گرفت. سپس نمونه دوباره وزن شد. میزان جذب آب بر حسب گرم آب در هر گرم نمونه خشک گزارش شد (۶).

میزان جذب روغن: ۰/۵±۰/۰۱ گرم از نمونه با ۶ml روغن ذرت در لوله‌های سانتریفوژی که به وزن ثابت رسیده بودند، مخلوط شد. پس از ۳۰ دقیقه ترکیب حاصل به مدت ۱ دقیقه هم زده شد و پس از گذشت ۳۰ دقیقه در این حالت، لوله‌ها به مدت ۲۵ دقیقه سانتریفوژ (۳۰۰۰g) شدند. روغن جدا شده توسط پیپت خارج شد و لوله‌ها به مدت ۲۵ دقیقه به صورت واژگون قرار گرفتند تا روغن اضافی جهت توزین مجدد خارج شود. میزان جذب روغن بر حسب گرم روغن در گرم نمونه خشک گزارش شد (۶).

قدرت کف‌کنندگی (foam capacity) و پایداری کف (foam stability): ۵۰ml مخلوط ۳٪ (W/V) پروتئین در آب مقطر با استفاده از هموژنایزر با دور بالا به مدت ۲ تا ۳ دقیقه مخلوط شد و به سرعت به استوانه‌های مدرج منتقل شد. حجم قبل و بعد از کف کردن ثبت شد. برای تعیین پایداری کف، میزان تغییرات حجم استوانه‌های مدرج در فواصل زمانی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه اندازه‌گیری شد. جهت بررسی اثر غلظت پروتئین بر قدرت کف‌کنندگی، محلول‌های ۳٪، ۵٪ و ۱۰٪ (W/V) از سوسپانسیون‌های آبی کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا تهیه شد و میزان کف تشکیل شده هر نمونه ثبت شد (۱۰، ۶).

حداقل میزان غلظت ژله‌ای شدن (Least Gelation Concentration): لوله‌های آزمایش حاوی سوسپانسیون‌های ۲٪، ۸٪، ۱۶٪ و ۲۰٪ (W/V) پروتئین (سویا و نخود) در 5ml آب مقطر به مدت ۱ ساعت در آب جوش حرارت داده شدند. سپس با استفاده از آب سرد به سرعت سرد شدند. لوله‌ها به مدت ۲ ساعت در دمای ۴°C قرار گرفتند. حداقل میزان غلظت ژله‌ای شدن، غلظتی از نمونه‌هاست که به هنگام واژگون شدن لوله‌های آزمایش سرازیر نشود (۶).

خواص حرارتی با روش گرماسنج پویشی تفاضلی DSC (Differential Scanning Calorimetry): ۵±۰/۰۱ میلی‌گرم ایزوله پروتئین نخود یا سویا در ظروف کوچک DSC از جنس آلومینیوم پر و کاملا دربندی شد. دمای انتقال شیشه‌ای (T_g)، دمای دناتوره شدن(T_d) و انتالپی دناتوره شدن(ΔH_d) با حرارت دادن نمونه در DSC (مدل DSC1 Mettler Toledo) اندازه‌گیری شد. ابتدا DSC از نظر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

دما و انتالپی با ایندیوم ($T_{m,onset}$=156.6ºC, ΔH=28.45J/g) کالیبره شد. ظرف کوچک DSC از جنس آلومینیوم حاوی آب (هم‌وزن) نمونه به عنوان معرف در نظر گرفته شد. نمونه‌ها از ۲۰°C تا ۱۲۰°C با سرعت ۵ °C/min گرم شدند. T_g با محاسبه نقطه ابتدایی($T_{g\ onset}$) و میانی($T_{g\ midpoint}$) تغییر پله‌ای گرمای ویژه نمونه طی حرارت‌دهی تعیین و گزارش شد. ΔH_d با محاسبه سطح زیر منحنی گرماگیر دناتوره شدن پروتئین توسط نرم‌افزار STAR^e system محاسبه شد (۱۱).

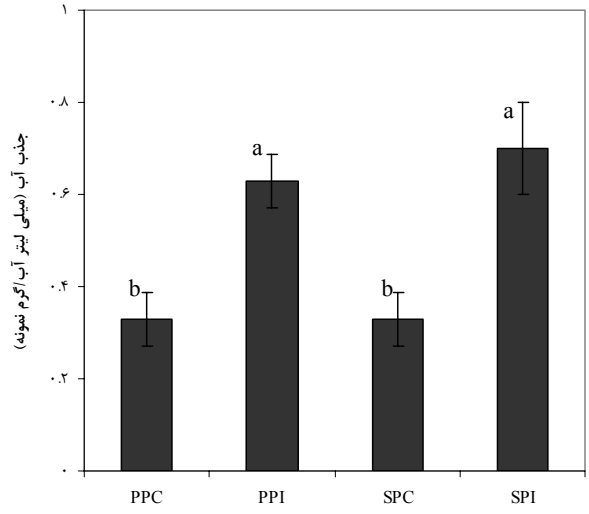
آنالیز آماری: ترکیب شیمیایی و خواص عملگر فراورده‌های پروتئین سویا و نخود در سه تکرار و ویژگی‌های حرارتی ایزوله‌های پروتئین سویا و نخود در دو تکرار اندازه‌گیری شدند. برای بررسی داده‌های آزمایش‌های مربوط به خواص عملگر فراورده‌های پروتئین نخود و سویا از روش آنالیز واریانس یک‌طرفه (One Way ANOVA) با طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. برای بررسی اثر غلظت پروتئین و زمان بر تشکیل کف و پایداری آن از طرح فاکتوریل سه عاملی با متن کاملاً تصادفی استفاده شد. میانگین ها با آزمون دانکن (Duncan Multiple Range Test) در سطح احتمال ۱٪ مقایسه شدند. با نرم‌افزار سیگماپلات (Sigma Plot) نمودارهای سه‌بعدی رسم شدند.

• یافته‌ها

ترکیب شیمیایی فراورده‌های پروتئین نخود و سویا: ترکیب شیمیایی کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا در جدول ۱ نشان داده شده است. در این فراورده‌ها درصد پروتئین به میزان قابل توجهی افزایش یافت. به طوری که مقدار آن در کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود به ترتیب ۸۰٪ و ۸۸/۶٪ و در کنسانتره و ایزوله سویا ۸۳/۱ ٪ و ۹۰/۲٪ بود.

بررسی خواص عملگر فراورده‌های پروتئین نخود و مقایسه آن‌ها با کنسانتره و ایزوله پروتئین سویا:

جذب آب: میانگین‌های جذب آب فراورده‌های پروتئین نخود و سویا در شکل ۱ مقایسه شده‌اند. جذب آب ایزوله پروتئین نخود و سویا مشابه یکدیگر بودند و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. از طرفی جذب آب کنسانتره‌های پروتئین نخود و سویا نیز با یکدیگر تفاوت آماری نداشت و نمی‌توان آن‌ها را از یکدیگر متمایز کرد. جذب آب ایزوله‌های پروتئین نسبت به کنسانتره‌های پروتئین افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد.



PPC : کنسانتره پروتئین نخود، PPI : ایزوله پروتئین نخود، SPC : کنسانتره پروتئین سویا، SPI: ایزوله پروتئین سویا

شکل۱- جذب آب فراورده‌های پروتئین نخود و سویا (حروف a و b نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها در سطح احتمالی ۱٪ است)

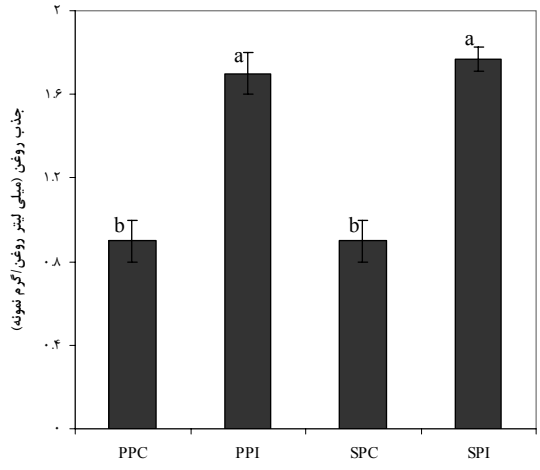
جدول۱- ترکیب شیمیایی ۳ نمونه آرد کامل، کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا

نمونه	پروتئین (٪)	رطوبت (٪)	چربی (٪)	فیبر (٪)	خاکستر (٪)
PF	۲۶/۶۶±۰/۶۴	۳/۸۱±۰/۷۶	۴/۴۶±۰/۸۸	۰/۵±۰/۱	۲/۹۴±۰/۶۴
SF	۳۹/۰۵±۰/۵۵	۲/۰۳±۰/۹۵	۱۷/۸۱±۰/۷	۲/۲±۰/۶	۴/۱±۰/۸
PPC	۸۰±۱/۵	۰/۷۵±۰/۰۳	۱/۸۵±۰/۵۳	۰/۸±۰/۰۹	۳/۸±۰/۹
SPC	۸۳/۱۱±۱/۱۶	۰/۷۳±۰/۰۶	۴/۴۰±۰/۵	۰/۰۰۵±۰/۰۰۱	۲/۶±۰/۶
PPI	۸۸/۵۶±۱/۵۸	۰/۰۸±۰/۰۱	۰/۸۵±۰/۱۳	۰/۰۰۶±۰	۳/۲±۰/۶۱
SPI	۹۰/۲±۱/۳۳	۰/۰۹±۰/۰۴	۱/۹۰±۰/۸	۰/۰۰۵±۰	۲/۳۵±۰/۴۱

PF: آرد نخود، SF : آرد سویا، PPC: کنسانتره پروتئین نخود، PPI : ایزوله پروتئین نخود، SPC : کنسانتره پروتئین سویا، SPI: ایزوله پروتئین سویا

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

جذب روغن: میانگین‌های جذب روغن فراورده‌های پروتئین نخود و سویا در شکل ۲ مقایسه شده‌اند. مقدار جذب روغن ایزوله پروتئین نخود و سویا با یکدیگر تفاوت آماری نداشتند. از طرفی میزان جذب روغن ایزوله‌های پروتئین نسبت به کنسانتره‌های پروتئین افزایش معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ نشان داد.

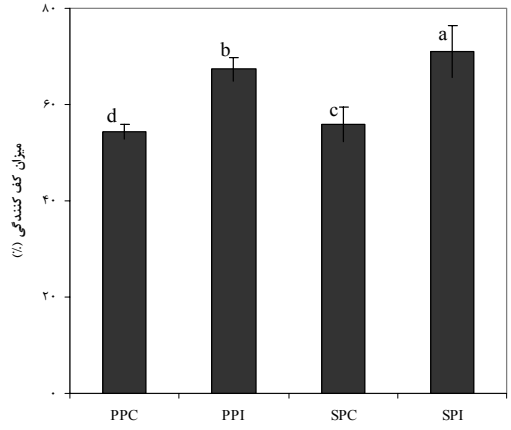


PPC : کنسانتره پروتئین نخود، PPI : ایزوله پروتئین نخود، SPC : کنسانتره پروتئین سویا، SPI: ایزوله پروتئین سویا

شکل۲- جذب روغن فراورده‌های پروتئین نخود و سویا (حروف a و b نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها در سطح احتمالی ۱٪ است)

میزان جذب روغن در ایزوله نخود ۱/۷٪ و در ایزوله سویا ۱/۷۷٪ بود که تفاوت بسیار ناچیزی با هم داشتند. در مورد کنسانتره نخود و کنسانتره سویا تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ در میزان جذب روغن (۰/۹٪) مشاهده نشد.

قدرت کف‌کنندگی و پایداری کف: بین فراورده‌های پروتئین نخود و سویا از نظر قدرت کف‌کنندگی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ وجود داشت (شکل ۳). قدرت کف‌کنندگی ایزوله پروتئین سویا افزایش معنی‌داری نسبت به سایر نمونه‌ها نشان داد. این ویژگی در ایزوله پروتئین نخود کمتر بود و در آخر به ترتیب کنسانتره پروتئین سویا و نخود، قدرت کف‌کنندگی کمتری داشتند. مقایسه میزان کف تشکیل شده بر حسب میلی‌لیتر نشان داد که قدرت تشکیل کف ایزوله‌ها نسبت به کنسانتره‌ها بیشتر بود. مقادیر کف تشکیل شده از ایزوله نخود ۷۱/۲٪، ایزوله سویا ۷۴/۱٪، کنسانتره نخود ۵۸/۶٪ و کنسانتره سویا ۵۹/۸٪ بود.



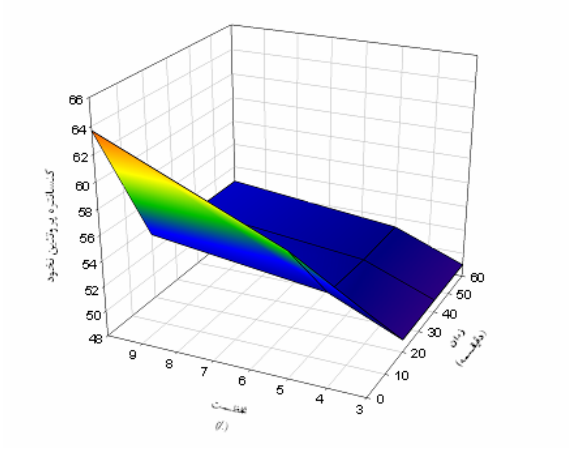
PPC : کنسانتره پروتئین نخود، PPI : ایزوله پروتئین نخود، SPC : کنسانتره پروتئین سویا، SPI: ایزوله پروتئین سویا

شکل۳- قدرت تشکیل کف فراورده‌های پروتئین نخود و سویا (حروف a و b نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین نمونه ها در سطح احتمالی ۱٪ است)

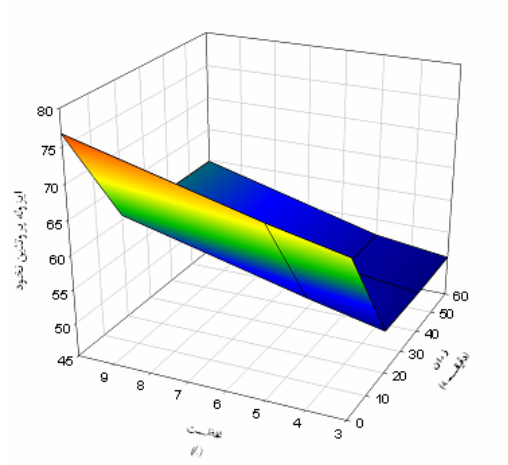
شکل‌های ۴ (الف تا ت)، اثر غلظت پروتئین (۳٪، ۵٪، ۱۰٪) در زمان‌های صفر،۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه را بر قدرت کف‌کنندگی و پایداری کف کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا نشان می‌دهد. در زمان صفر، ایزوله پروتئین سویا بیشترین قدرت کف‌کنندگی (۷۷٪) را در غلظت ۱۰٪ (شکل۴-ت) وکنسانتره پروتئین نخود کمترین قدرت کف‌کنندگی (۵۴/۳٪) را در غلظت ۳٪ (شکل۴- الف) داشتند. با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش زمان، میزان کف تشکیل شده، روند رو به کاهشی را برای تمامی نمونه‌ها تا زمان ۴۰ دقیقه نشان داد، ولی در بین زمان‌های ۴۰ و ۶۰ دقیقه هیچ تغییری حاصل نشد که نشانگر پایداری کف پس از گذشت زمان است.

ژله‌ای شدن: حداقل میزان ژله‌ای شدن نشان‌دهنده توانایی تشکیل ژل است. هرقدر این کمیت کمتر باشد، توانایی تشکیل ژل در پروتئین‌ها بهتر است. نتایج نشان داد که از نظر قدرت تشکیل ژل، بین فراورده‌های پروتئین نخود و سویا اختلاف زیادی وجود دارد. اثر غلظت پروتئین (۲٪، ۸٪، ۱۶٪، ۲۰٪) بر ژله‌ای شدن کنسانتره و ایزوله پروتئین دو نمونه نخود و سویا بررسی شد. در این میان، بیشترین میزان ژله‌ای شدن مربوط به ایزوله پروتئین سویا در غلظت ۱۶٪ و کمترین میزان آن مربوط به کنسانتره پروتئین نخود در غلظت ۲٪ بود. ایزوله پروتئین نخود و سویا نسبت به کنسانتره پروتئین آن‌ها ژل‌های قوی‌تری تشکیل دادند (۶).

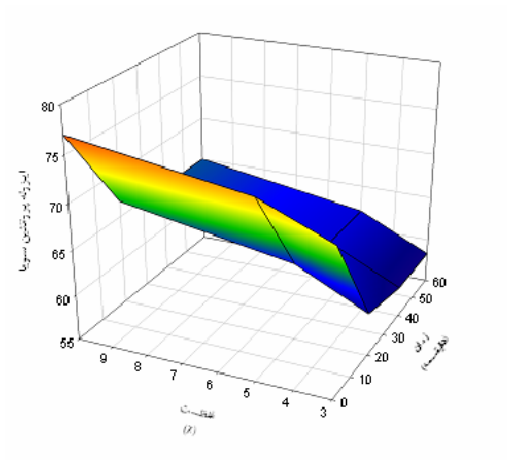
[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]



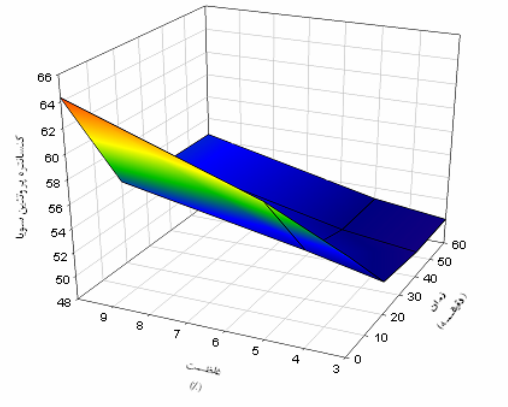
الف – کنسانتره پروتئین نخود



ب- ایزوله پروتئین نخود



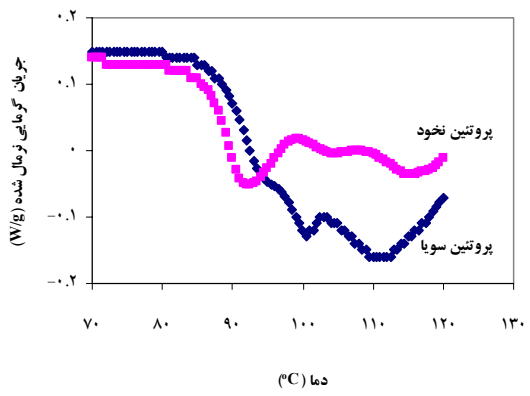
ت– ایزوله پروتئین سویا



پ - کنسانتره پروتئین سویا

شکل ۴- اثر زمان و غلظت پروتئین بر تشکیل و پایداری کف کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود و سویا

تعیین خواص حرارتی: دمانگاشت‌های به‌دست آمده با DSC برای ایزوله‌های پروتئین نخود و سویا در شکل ۵ نشان داده شده است. چند پدیده گرماگیر طی حرارت‌دهی در DSC مشاهده شد. در ابتدا بخش بی‌شکل یا آمورف دچار انتقال شیشه‌ای شد و از حالت شیشه‌ای به لاستیکی تبدیل شد. این انتقال به صورت تغییر پله‌ای در گرمای ویژه یا (C_p) مشخص می‌شود. در هر دو نمونه ایزوله نخود و سویا پدیده گرماگیر دیگری در ناحیه انتقال شیشه‌ای مشاهده شد که به دلیل بروز پدیده زمانمندی فیزیکی (Physical ageing) یا پیشینه حرارتی پروتئین است. در ادامه حرارت‌دهی دو پدیده گرماگیر دیگر روی دمانگاشت مشاهده شد که به نظر می‌رسد به دلیل تغییر حالت بخش‌های منظم و دناتوره شدن پروتئین‌های نخود و سویا باشد. برای ایزوله‌های نخود و سویا Tg، Td، ΔC_p و ΔH_d در جدول ۲ نشان داده شده‌است.



شکل ۵- دمانگاشت‌های DSC به دست آمده برای ایزوله پروتئین نخود و سویا

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

جدول۲-دمای انتقال شیشه‌ای (Tg)، دمای دناتوره شدن(Td)، ظرفیت حرارتی (ΔCp)، و انتالپی دناتوره شدن (ΔH_d) ایزوله پروتئین نخود و سویا

نمونه	T_g (°C) دمای پایانی/دمای میانی/دمای ابتدایی	ΔC_p (J/ g°k)		ΔH (J/ g)	T_d (°C) دمای پایانی/نقطه پیک/دمای ابتدایی
SPI	۸۹/۹۱/۹۴	۱/۹	پیک اول	۱/۷	۹۷/۱۰۰/۱۰۳
			پیک دوم	۸/۷	۱۰۵/۱۱۱/۱۲۰
PPI	۸۷/۸۸/۹۰	۱/۴	پیک اول	۰/۶	۱۰۱/۱۰۴/۱۰۸

• بحث

دانه بقولات منبع بسیارخوب و ارزانی از مواد مغذی مهم نظیر پروتئین‌ها، مواد معدنی، نشاسته و ویتامین‌هاست. بقولات قابلیت نگهداری خوبی دارند و بعد از غلات دومین منبع مهم غذایی انسان به شمار می‌روند (۷، ۶). با اینکه پروتئین سویا منبع بسیار مهمی از پروتئین‌های گیاهی است، ولی محصولات پروتئینی نظیر آرد، کنسانتره و ایزوله پروتئین بقولات نیز به عنوان افزودنی غذایی عملگر می‌توانند جایگزین مناسبی برای پروتئین سویا باشند. در سال‌های اخیر، دانه نخود به عنوان منبع خوب پروتئین مورد توجه قرارگرفته است و به صورت کنسانتره و ایزوله‌های پروتئین برای تولید فراورده‌های پروتئین به کار می‌رود (۱۲، ۱).

هدف از این تحقیق، بررسی امکان تهیه کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود به منظور استفاده مطلوب از این پروتئین در صنعت غذایی کشور بود. ابتدا کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود به روش استخراج قلیایی و سپس ترسیب اسیدی در نقطه ایزوالکتریک و در نهایت، خشک کردن انجمادی تهیه شدند. میزان پروتئین کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود به ترتیب به ۸۰٪ و ۸۸/۶ ٪ رسید. خواص عملگر فراورده‌های پروتئین نخود از قبیل میزان جذب آب، جذب روغن، ژله‌ای شدن، قدرت تشکیل کف و پایداری کف تشکیل شده در غلظت‌های مختلفی از پروتئین بررسی و با فراورده‌های پروتئین سویا مقایسه شد. از نظر جذب آب و روغن، بین پروتئین نخود و سویا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

علت آنکه میزان جذب آب ایزوله بیشتر از کنسانتره است، شاید به این دلیل باشد که ایزوله توانایی بیشتری برای متورم شدن و تشکیل پیوند دارد. از طرفی، حضور کربوهیدرات و سایر ترکیبات غیر پروتئینی در ایزوله کمتر است و طبق استدلال *Tjahjadi* ، *Lin* و *Breene* (۱۹۸۸) گروه‌های قطبی آمینوی ملکول‌های پروتئین مکان‌های اصلی اثر متقابل آب- پروتئین هستند و میزان اسیدهای آمینه قطبی که آب بیشتری جذب می کنند، در ایزوله بیشتر است (۱۳). همچنین، می‌توان گفت به دلیل حضور بیشتر چربی در کنسانتره‌ها جذب آب کاهش می‌یابد و هرقدر میزان چربی بیشتر باشد، جذب آب کمتر خواهد شد (۶).

جذب روغن ایزوله‌های پروتئین بسیار بیشتر از کنسانتره‌ها بود که می‌تواند ناشی از حضور اسیدهای آمینه غیرقطبی بیشتری در ایزوله‌ها نسبت به کنسانتره‌ها باشد. در نتیجه، ممکن است این زنجیره‌های غیرقطبی با زنجیره‌های هیدروکربنی روغن‌ها متصل شوند که در نهایت، موجب جذب بیشتر روغن می‌شود (۱۴، ۶). از طرفی مطابق با مطالعات *Kaur* و *Singh* (۲۰۰۷) جذب روغن به تعداد زنجیره‌های جانبی غیرقطبی روی پروتئین بستگی دارد که با زنجیره‌های هیدروکربنی روی اسیدهای چرب پیوند تشکیل می‌دهد. توانایی جذب روغن از نظر صنعتی ویژگی بسیار مهمی است؛ زیرا با قدرت امولسیون کنندگی ارتباط مستقیم دارد که در محصولاتی نظیر مایونزها بسیار مطلوب و مهم است. جذب بالای چربی توسط پروتئین در غذاهایی نظیر غلات صبحانه، جایگزین‌های گوشت و انبساط دهنده‌ها (extenders) ، شیرینی‌ها، محصولات نانوایی و سوپ‌ها مورد نیاز است (۵).

قدرت تشکیل کف در ایزوله سویا نسبت به سایر فراورده‌های پروتئینی بیشتر بود و کنسانتره نخود کمترین میزان کف را در بین نمونه‌ها داشت. توانایی تشکیل کف به غلظت پروتئین نمونه وابسته بود و در همه نمونه‌های پروتئینی با افزایش میزان غلظت پروتئین، قدرت کف‌کنندگی نیز افزایش معنی‌داری نشان داد. هرقدر میزان غلظت پروتئین بیشتر شد، دیسپرسیون آبی و در نتیجه، تشکیل کف افزایش یافت. به این ترتیب، در همه نمونه‌ها با افزایش غلظت از ۳٪ تا۱۰٪ قدرت کف‌کنندگی افزایش معنی‌داری نشان داد و بیشترین میزان کف تشکیل شده درکنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئین با غلظت ۱۰٪ مشاهده

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

شد. این نتایج با مشاهدات *Akintayo* و همکاران (۱۹۹۹)، *Sathe* و *Salunkhe* (۱۹۸۱) و *Kaur* و *Singh* (۲۰۰۷) مطابقت داشت (۱۵، ۱۴، ۶). از طرفی به دلیل وجود چربی بیشتر در کنسانتره‌ها نسبت به ایزوله‌های پروتئین توانایی تشکیل کف در آن‌ها کمتر بود؛ زیرا چربی، لایه‌های نازک پروتئین را ناپایدار می‌کند. بنابراین، با حذف چربی، ویژگی کف‌کنندگی در ایزوله‌ها به طور قابل‌توجهی افزایش یافت. پایداری کف در همه نمونه‌ها خوب بود، طوری که پس از گذشت ۲۰ دقیقه کاهش چشمگیری در میزان کف تشکیل شده، مشاهده نشد. مقادیر بالای کف تشکیل شده و پایداری خوب کف در ایزوله و کنسانتره نخود، آن‌ها را به عنوان پروتئین‌های طبیعی محلول در فازهای پیوسته (آبی) مواد غذایی مناسب می‌سازد. طبق نظر *Mwasaru* و همکاران (۱۹۹۹) توانایی تشکیل کف و پایداری کف به عنوان ویژگی برای خصوصیات زدن (whipping) کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئین مطرح است. به دلیل خصوصیات فعال سطحی پروتئین‌ها هنگام هم‌زدن، کف تشکیل می‌شود(۱۶). از طرفی *Sathe* و *Salunkhe* (۱۹۸۱) معتقدند که تشکیل کف ارتباط مستقیمی با انعطاف‌پذیری ملکول‌های پروتئین دارد که می‌توانند کشش سطحی را کاهش دهند. پروتئین‌های عمده حبوبات نیز به طور طبیعی کروی شکل هستند؛ از این رو توانایی تشکیل کف کمتری را دارند (۱۴).

قدرت تشکیل ژل پروتئین سویا بیش از پروتئین نخود بود و ایزوله پروتئین سویا ژل قوی‌تری نسبت به سایر نمونه‌ها تشکیل داد. از طرفی اثر غلظت نیز بر ژله‌ای شدن کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئین بررسی شد. کمترین میزان ژله‌ای شدن در غلظت ۲٪ و بیشترین میزان آن در غلظت ۱۶٪ برای همه نمونه‌ها به دست آمد. ایزوله پروتئین نخود و سویا ژل‌های قوی‌تری نسبت به کنسانتره‌های پروتئین آن‌ها تشکیل دادند. *Sathe* و *Salunkhe* (۱۹۸۱) معتقدند که ژله‌ای شدن تنها به مقدار پروتئین بستگی ندارد، بلکه به نوع پروتئین و همچنین ترکیبات غیر پروتئینی نیز وابسته است(۱۴). ژل‌های پروتئینی از طریق واکنش‌های بین ملکولی تشکیل می‌شوند که یک ساختار مستحکم، پیوسته و شبکه‌ای سه‌بعدی را به نمایش می‌گذارند. ژله‌ای شدن پروتئین‌ها می‌تواند از طریق شیمیایی، فیزیکی (مانند حرارت) و آنزیمی تشدید شود که در این تحقیق از طریق حرارت دادن واکنش‌های ژله‌ای شدن تحریک شدند (۱۷).

دمانگاشت‌های ایزوله پروتئین سویا و نخود نشان داد که این پروتئین‌ها ساختار نیمه منظمی دارند. مشاهده انتقال شیشه‌ای نشان می‌دهد که با وجود ساختارهای منظم آلبومین‌ها و گلوبولین‌ها در پروتئین سویا و نخود، بخشی از این ساختار به صورت بی‌شکل (آمورف) است و در اثر حرارت‌دهی دچار انتقال شیشه‌ای می‌شود. این ویژگی در پروتئین‌هایی‌که ساختار بسیار منظمی دارند، نیز مشاهده شده‌است (۱۸). زیاد بودن مقدار تغییر گرمای ویژه (ΔC_p) در ناحیه انتقال شیشه‌ای نشان می‌دهد که در مقایسه با سایر پروتئین‌ها، بخش آمورف بیشتری در پروتئین‌های سویا و نخود وجود دارد. به دلیل ناهمگن بودن بخش‌های پروتئینی نخود و سویا پیک گرماگیر مربوط به دناتوره شدن پروتئین‌ها به صورت پهن مشاهده شد. وجود ساختار پروتئینی ناهمگن و همپوشانی بخش‌های متفاوت آلبومین و گلوبولین در هر دو نمونه پروتئینی باعث شد که دو منحنی گرماگیر با مقادیر انتالپی متفاوت به دست آید (۱۹). همچنین پایداری حرارتی پروتئین سویا بیش از پروتئین نخود بود. پدیده زمانمندی فیزیکی در پروتئین‌های نخود و سویا مشاهده شد که قبلاً در کربوهیدرات‌ها و بعضی پروتئین‌ها نظیر ژلاتین، گلوتن و سرم آلبومین گاوی اندازه-گیری شده است (۲۲-۲۰) و عامل اصلی تغییرات فیزیکی در مواد غذایی نگهداری شده در دماهای کمتر از دمای انتقال شیشه‌ای است.

نتایج نشان داد که کنسانتره و ایزوله پروتئین نخود از نظر برخی خواص عملگر نظیر میزان جذب آب و جذب روغن مشابه پروتئین سویا هستند. ایزوله پروتئین نخود از نظر قدرت تشکیل کف و پایداری آن و قدرت تشکیل ژل بر کنسانتره پروتئین سویا برتری دارد. از کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئین نخود می‌توان به عنوان اجزای تشکیل‌دهنده انواع گوناگونی از مواد غذایی نظیر فراورده‌های گوشتی، لبنی و نانوایی استفاده کرد. ارزش تغذیه‌ای بالای آن‌ها، محتوای اسیدهای آمینه ضروری و خواص عملگر خوب فراورده‌های پروتئین نخود، آن‌ها را ترکیبات بسیار باارزشی ساخته است. به همین دلیل، پیشنهاد می‌شود که در زمینه تولید نیمه صنعتی کنسانتره‌ها و ایزوله‌های پروتئین نخود و کاربردهای صنعتی آن‌ها درکشور تحقیق و پژوهش شود.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

• References

1. Majnoon Hosseini N. Food legumes in Iran. Tehran: Jihad Daneshghahi Publication, Tehran University 1993. [in Persian]
2. Ministry of Jihade Agriculture. Agricultural statistics of 2008-2009, Tehran: Information and Technology Office, Ministry of Jihade Agriculture; 2010 [in Persian]
3. Alibhai Z, Mondor M, Moresoli Ch, Ippersiel D, Lamarche F. Production of soy protein concentrates/isolates: traditional and membrane technologies. Desalination 2005; 19: 351-8.
4. Sanchez-Vioque R, Clemente A, Vioque J, Bautista J, Millan F. Protein isolates from chickpea:chemical composition, functional properties and protein characterization. Food Chem 1999; 64: 237-43.
5. Zhang T, Jiang B, Wang Z. Gelation properties of chickpea protein isolates. Food Hydrocoll 2006; 2: 280-86.
6. Kaur M, Singh N. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea cultivars. Food Chem 2007;102: 366-74.
7. Papalamprou EM, Doxastakis GI, Biliaderis CG, Kiosseoglou V. Influence of preparation methods on physiochemical and gelation properties of chickpea protein isolates. Food hydrocoll 2009; 23: 337-43.
8. Cho SY, Rhee C. Mechanical properties and water vapor permeability of edible films made from fractionated soy proteins with ultrafiltration. Lebensm.-Wiss.u-Technol 2004; 37: 833-9.
9. AOAC. Official Methods of Analysis. 17th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists International: 2008.
10. Martins VB, Netto FM. Physicochemical and functional properties of soy protein isolate as a function of water activity and storage. Food Res Inter 2005; 39: 145-53.
11. Behlau L, Widmann G. Collection applications thermal analysis, food. Mettler Tolledo; 2008. p. 15-6.
12. Clemente A, Vioque J, Viouque RS, Pedroche J, Bautista J, Millan F. Protein quality of chickpea(Cicer arietinum L.) protein hydrolysates. Food Chem 1999; 67: 269-74.
13. Tjahjadi C, Lin S, Breene WM. Isolation and characterization of adzuki bean (Vigna angularis cv. Takara) proteins. J Food Sci 1988; 53: 1438-43.
14. Sathe SK, Salunkhe DK. Functional properties of great northern bean proteins: emulsion, foaming, viscosity and gelation properties. J Food Sci 1981; 46: 71-5.
15. Akintayo ET, Oshodi AA, Esuoso KO. Effect of ionic strength and pH on the foaming and gelation of pigeon pea (cajanus cajan) protein concentrates. Food Chem 1999; 66: 51-6.
16. Mwasaru AM, Muhammad K, Bakar J, Cheman YB. Effect of isolation technique and conditions on the extractability, physiochemical and functional properties of pigeon pea(Cajanus cajan) and cow pea (Vigna unguiculata) protein isolates.II. Functional properties. Food Chem 1999; 67: 445-52.
17. Adebowale KO, Lawal OS. Foaming, gelation and electrophoretic characteristics of mucuna bean (mucuna pruriens) protein concentrates. Food Chem 2003; 83: 237-46.
18. Farahnaky A, Badii F, Farhat IA, Mitchell JR, Hill SE. Enthalpy relaxation of bovine serum albumin. Biopolym 2004; 78: 69-77.
19. Ryan M, McEvoy E, Duignan S, Crowley C, Fenelon M, O'Callaghan DM, et al. Thermal stability of soy protein isolate and hydrolysate ingredients. Food Chem 2007; 108: 503-10.
20. Borde B, Bizot H, Vigier G, Buleon A. Calorimetric analysis of the structural relaxation in partially hydrated amorphous polysaccharides. I. Glass transition and fragility. Carbohyd Polym 2002; 48: 83-96.
21. Badii F, MacNaughtan W, Farhat IA. Enthalpy relaxation of gelatin in the glassy state. Inter J Bio Macro 2005; 36: 263-69.
22. Lawton JW, Wu YV. Thermal behavior of annealed acetic acid-soluble wheat gluten. Cereal Chem1993; 70: 471-5.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]

Functional and thermal properties of chickpea and soy-protein concentrates and isolates

Ameri Shahrabi A[1], Badii F[2], Ehsani MR[3], Maftoonazad N[4], Sarmadizadeh D[1]*

1- M.Sc in Food Science & Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2-[*]Corresponding author: Assistant Prof, Agricultural Engineering Research Institute, Karaj, Iran. Email: fjbadii@gmail.com

3- Prof, Dept. of Food Science & Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

4- Assistant Prof, Dept. of Agricultural Engineering Research, Agriculture and Natural Resources Center, Fars, Iran.

Received 8 Sep, 2010 **Accepted 26 Apr, 2011**

Background and Objective: In the last few years there has been a growing trend to use chickpea as a good protein source. Chickpea protein products, such as chickpea flour, concentrate and isolate, are considered as functional food supplements, alternatives to soy protein. The objective of this study was to determine and compare the functional and thermal properties of chickpea and soy-protein concentrates and isolates.

Materials and Methods: Chickpea protein concentrate and isolate were prepared from defatted chickpea flour by applying alkaline extraction and isoelectric precipitation. Chemical composition (protein, fat, ash, crude fiber, and water contents), functional properties (water and fat absorptions, gelation, foaming capacity, and foam stability), and thermal properties (glass transition and denaturation temperatures) of chickpea protein concentrate and isolate were determined and compared with those of the soy protein products.

Results: The protein contents of the concentrate and isolate obtained from defatted chickpea flour were 80% and 88.6%, respectively; the corresponding proportions for soy concentrate and isolate were 83.1% and 90.2%. There were no statistically significant differences as regards water and oil absorptions between soy and chickpea proteins. The gelation properties and foaming capacity of all the samples increased with an increase in protein concentration. However, soy protein had a higher foaming capacity and foam stability as compared to chickpea protein ($P \leq 0.01$). Both the chickpea and soy-protein isolates had a semi-crystalline structure, while soy protein showed a higher thermal stability than chickpea protein.

Conclusion: The results reveal that some functional properties of chickpea protein are similar to those of soy protein. Its high nutritional value, the high indispensible amino acid content and good functional properties of chickpea, makes it ideal substitutes for other dietary proteins.

Keywords: Chickpea protein concentrate, Chickpea protein isolate, Functional properties, Thermal properties, Soy protein

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2025-09-03]