نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ جلد ۲۷ شماره ۴/ سال۱۳۹۶/ صفحات ۲۱۷ تا ۲۳۰

اثرات پرتوتابی گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز بر هضم‌پذیری شکمبه‌ای و برون‌تنی پروتئین کنجاله سویا

پروین شورنگ[1*]، سادیه جلیلیان[2]، فرشید فتاح نیا[2]، علی اصغر صادقی[3] و علی اشرف مهرابی[2]

تاریخ دریافت: ۹٤/٦/١٦ تاریخ پذیرش: ۹٦/٦/۲۱

[1] استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته ای، کرج، ایران

[2] به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد استادیار و استادیار گروه علوم دامی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

[3] دانشیار گروه علوم دامی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

[*] مسئول مکاتبه: Email: pshawrang@nrcam.org

چکیده

زمینه مطالعاتی: پرتوتابی منابع پروتئین گیاهی می تواند کیفیت آن را بهبود بخشد. **هدف**: این مطالعه به‌منظور مقایسه اثرات پرتوتابی گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز برتجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، قابلیت هضم برون‌تنی و بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله سویا انجام شد. **روش کار**: تجزیه پذیری، قابلیت هضم برون‌تنی و بخش‌های مختلف پروتئین به-ترتیب با تکنیک کیسه های نایلونی با استفاده از چهار رأس گوسفند نر بالغ دارای فیستولای شکمبه، روش سه مرحله‌ای و روش پروتئین و کربوهیدرات خالص کرنل اندازه‌گیری شد. گروه‌های آزمایشی شامل ۱) کنجاله خام به‌عنوان شاهد، ۲) کنجاله پرتوتابی شده با دز ۵۰ کیلوگری گاما، ۳) کنجاله پرتوتابی شده با دز ٤٥ کیلوگری الکترون ، ٤) کنجاله پرتوتابی شده با مایکروویو در قدرت ۸۰۰ وات به مدت ٤ دقیقه و ٥) کنجاله پرتوتابی شده با مادون قرمز به‌مدت ۳۰ ثانیه بود. **نتایج**: بیشترین بخش سریع تجزیه (a) پروتئین کنجاله سویا در کنجاله خام و کمترین آن در کنجاله پرتوتابی شده با مادون قرمز وجود داشت ($P<۰/۰٥$). بیشترین و کمترین بخش کند تجزیه (b) به‌ترتیب در کنجاله پرتوتابی شده با مایکروویو و کنجاله خام مشاهده شد. کمترین ثابت نرخ تجزیه (c) متعلق به کنجاله سویای عمل‌آوری شده با روش-های پرتوتابی و بیشترین آن به کنجاله سویای خام تعلق داشت ($P<۰/۰٥$). تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله سویا تحت تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری قرار نگرفت ($P>۰/۰٥$). اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر بخش‌های B_1، B_2 و B_3 پروتئین خام کنجاله سویا معنی‌دار بود ($P<۰/۰٥$)، ولیکن بر بخش‌های A و C اثری نداشت ($P>۰/۰٥$). بیشترین مقدار قابلیت هضم پروتئین کنجاله سویا در تیمارهای پرتوتابی شده و کمترین مقدار آن در کنجاله خام وجود داشت ($P<۰/۰٥$). **نتیجه گیری نهایی**: در بین عمل‌آوری‌های مورد مطالعه، تفاوت زیادی در تجزیه پذیری پروتئین خام دیده نشد ولیکن با توجه به نتایج قابلیت هضم به‌نظر می‌رسد پرتوتابی مادون قرمز و الکترون برای عمل‌آوری کنجاله سویا بهتر عمل می‌کند.

واژگان کلیدی: کنجاله سویا، پرتوتابی، تجزیه‌پذیری، قابلیت هضم برون‌تنی، بخش‌های مختلف پروتئین

مقدمه

کنجاله سویا به‌عنوان مکمل پروتئینی در جیره نشخوارکنندگان استفاده می‌شود، اما بیشتر پروتئین دانه و کنجاله آن به‌وسیله میکروارگانیسم‌های شکمبه تجزیه می‌شود (آواوده و همکاران ۲۰۰۷). روش‌های مختلفی برای کاهش تجزیه پروتئین‌ها در شکمبه پیشنهاد شده است که می‌توان به روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا ترکیبی از آن‌ها اشاره کرد (مک نیون و همکاران ۲۰۰۲). در چند دهه اخیر از پرتوتابی مانند پرتوهای مادون قرمز، مایکروویو (حرارتی)، گاما و الکترون (غیرحرارتی) برای افزایش کیفیت پروتئین، بهبود قابلیت هضم مواد مغذی، حذف عوامل ضدتغذیه‌ای و کاهش یا حذف آلودگی خوراک استفاده شده است. پرتوتابی از روش‌های فیزیکی بهبود ارزش غذایی مواد خوراکی هستند. پرتوهای گاما و الکترون از جمله پرتوهای یون ساز و دارای انرژی کافی برای یونیزه کردن اتم ها می‌باشند. پرتوهای گاما و الکترون از نوع غیرحرارتی و از لحاظ انرژی نسبت به پرتوهای حرارتی شامل مایکروویو و مادون قرمز دارای انرژی بسیار بالاتری هستند (روسا و باربوسا-کانواس ۲۰۰۳). پرتوهای گاما و الکترون از جمله پرتوهای یون ساز هستند و عمل‌آوری با این پرتوها بدون افزایش دما در مواد خوراکی صورت می‌گیرد در صورتی که، مایکروویو و مادون قرمز با افزایش حرکت و برخورد مولکول‌های آب داخل مواد خوراکی و در نهایت تولید گرما سبب پخته شدن آن‌ها می‌شوند. پرتوتابی غیرحرارتی بدون اثر منفی بر کیفیت مواد خوراکی، آلودگی‌های میکروبی و عوامل ضدتغذیه‌ای آنها را از بین و با تغییر ساختار پروتئین و دیواره سلولی سبب بهبود قابلیت هضم و زیست فراهمی مواد مغذی می‌شود (صادقی و همکاران ۲۰۰۵، ۲۰۰۷ و صادقی و شورنگ ۲۰۰۶). از مزایای پرتوتابی غیرحرارتی می‌توان به سرعت و سهولت استفاده از آن، آسیب کمتر به مواد مغذی و عدم ایجاد فرآورده‌های غیرقابل هضم مانند فرآورده‌های میلارد اشاره کرد (سازمان غذا و دارو ۱۹۹۷). امواج مایکروویو با نفوذ در ساختارهای درونی مواد خوراکی حرارت یکنواخت ایجاد می‌کند و به دلیل تبدیل شدن کامل انرژی الکترومغناطیس به حرارت، بازده این روش زیاد است. مایکرونیزه کردن یا پرتوتابی مادون قرمز نسبت به عمل‌آوری حرارتی معمولی (مانند تف دادن) با بازده زیاد گرما را با عمق نفوذ زیاد به درون مواد خوراکی وارد می کند، به‌همین دلیل احتمال سوزاندن سطح خوراک و تولید فرآورده‌های میلاردی مقاوم کاهش می‌یابد. از طرفی زمان عمل‌آوری بسیار کاهش می‌یابد و بنابراین هزینه آن نیز کمتر است (فلوز ۲۰۰۰). تاکنون دز مناسب پرتو گاما (شورنگ و همکاران ۲۰۰۷) و الکترون (ابراهیمی و تقی‌نژاد ۲۰۱۱) و همچنین مدت زمان پرتوتابی با مادون قرمز (فلوز ۲۰۰۰) و میکروویو (صادقی و همکاران ۲۰۰۵) برای کنجاله سویا تعیین شده است و نتایج مثبتی از پرتوتابی با عوامل یاد شده گزارش شده است. سؤالی که بی‌پاسخ مانده است این که کدام یک از عمل‌آوری‌های فیزیکی مذکور بهتر می‌تواند بر ویژگی‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم برون تنی پروتئین کنجاله سویا اثرگذار باشد. برای پاسخ به این سؤال مطالعه حاضر با انجام مناسب‌ترین دز یا زمان عمل‌آوری با عوامل مذکور انجام شد. بنابراین هدف از این مطالعه مقایسه اثرات پرتوتابی گاما، مایکروویو، الکترون و مادون قرمز بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، بخش‌های مختلف پروتئین خام و قابلیت برون‌تنی پروتئین خام کنجاله سویا با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی، پروتئین و کربوهیدرات خالص کرنل و سه مرحله‌ای آنزیمی بود.

مواد و روش‌ها

عمل‌آوری نمونه‌های خوراک

قبل از پرتوتابی، رطوبت کنجاله سویا به ۲۵ درصد رسانده شد (شورنگ و همکاران ۲۰۰۷). پرتوتابی گاما،

در پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران در دمای اتاق (۲۳ درجه سلسیوس) و با دز ۵۰ کیلوگری (شورنگ و همکاران ۲۰۰۷) انجام شد. پرتوتابی الکترون با دز ٤٥ کیلوگری (ابراهیمی و تقی-نژاد ۲۰۱۱) در مرکز پرتوفرآیند یزد با استفاده از شتاب‌دهنده الکترون مدل TT200 با انرژی ثابت ۱۰ مگا الکترون ولت و جریان باریکه الکترونی ٦ میلی‌آمپر و با خطای حداکثر ۱۰ درصد انجام شد. پرتوتابی مایکروویو با استفاده از آون مایکروویو بوتان با قدرت ۸۰۰ وات و به مدت ٤ دقیقه (صادقی و همکاران ۲۰۰۵) و پرتوتابی مادون قرمز با استفاده از دستگاه آون مجهز به لامپ مادون قرمز با قدرت ۱۰۰۰ وات و به مدت ۳۰ ثانیه (فلوز ۲۰۰۰) در آزمایشگاه بخش تغذیه دام دانشگاه ایلام انجام شد.

تجزیه شیمیایی و تعیین بخش‌های نیتروژن‌دار نمونه‌ها

نمونه سویا با آسیاب آزمایشگاهی دارای توری ۲ میلی‌متر آسیاب شد. سپس ماده خشک، عصاره اتری، نیتروژن کل، ماده آلی (AOAC ۲۰۰۰)، بخش‌های مختلف نیتروژن شامل نیتروژن غیرقابل حل در شوینده اسیدی(ADIN)[1]، نیتروژن غیر قابل حل در شوینده خنثی(NDIN)[2]، ترکیبات نیتروژنی غیرپروتئینی(NPN)[3] و نیتروژن قابل حل در بافر فسفات (لیسیترا و همکاران ۱۹۹٦) هر کدام در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. ترکیب شیمیایی کنجاله سویا قبل و بعد از عمل آوری در جدول۱ گزارش شده است.

قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام با روش آنزیمی

در این روش برای هر نمونه ماده خوراکی چهار کیسه از جنس ابریشم مصنوعی به ابعاد ۳ × ٦ سانتی‌متر با قطر منافذ ٤٨ میکرومتر در نظر گرفته شد. مقدار یک گرم از هر نمونه وزن و در داخل هر کیسه ریخته شد. سر کیسه‌ها با چسب آکواریوم چسبانده شد. سپس به منظور خشک شدن به مدت ٢٤ ساعت در داخل آون قرار داده شد. بعد از این مرحله، وزن کیسه‌های حاوی نمونه اندازه‌گیری و یادداشت شد. کیسه‌ها در یک ظرف ۲/٤ لیتری حاوی ۱/٦ لیتر بافر بورات فسفات با pH برابر با ۷/۸ قرار داده شدند. بافر بورات فسفات از مخلوط کردن ۱۳/۱۷ گرم در لیتر تترابورات سدیم ۱۰ آبه با ۷/۹۰٤ گرم در لیتر فسفات مونوسدیم یک آبه تهیه شد. کیسه‌ها به مدت یک ساعت در محلول بافر بورات فسفات در دمای ۳۹ درجه سلسیوس در داخل آون شیکردار قرار داده شد. بعد از این مرحله ٤۰۰ میلی‌لیتر محلول پروتئاز[4](۱۹۸۰ واحد در ٤۰۰ میلی‌لیتر بافر فسفات) به محلول قبلی اضافه و انکوباسیون به مدت ٤ ساعت دیگر در دمای ۳۹ درجه سلسیوس در داخل آون شیکردار ادامه یافت. پس از سپری شدن مدت زمان لازم برای مرحله اول، کیسه‌ها از درون محلول خارج و سه مرتبه با آب مقطر شسته شدند. سپس دو کیسه از ٤ کیسه هر نمونه جدا و سه مرتبه دیگر با آب مقطر شسته شدند و در آون با دمای ٥٥ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت خشک شدند. پس از خشک شدن، مقدار نیتروژن آن‌ها اندازه‌گیری شد. باقی‌مانده کیسه‌ها (دو عدد برای هر تیمار) در ۸۰۰ میلی‌لیتر محلول پپسین (۳/٤ گرم پپسین در ۸۰۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال) قرار داده و برای مدت یک ساعت در دمای ۳۹ درجه سلسیوس در داخل آون شیکردار انکوباسیون شد. سپس ٤۰ میلی‌لیتر محلول هیدروکسید سدیم یک نرمال و یک لیتر محلول پانکراتین با pH برابر با ۷/۸ به نمونه‌ها اضافه و کیسه‌ها به مدت ٢٤ ساعت در دمای ۳۹ درجه سلسیوس در آون شیکردار انکوباسیون شد. محلول پانکراتین از مخلوط کردن ٦٨ گرم فسفات‌دی‌هیدروژن‌پتاسیم (KH_2PO_4) با ٦ گرم پانکراتین در یک لیتر آب مقطر تهیه شد. بعد از

1-Acid Detergent Insoluble N
2-Neutral Detergent Insoluble N
3-Non Protein Nitrogen

4 -Protease from *Streptomyces griseus* Type XIV; Sigma-Aldrich; P5147

انکوباسیون، کیسه‌ها خارج و شش بار با آب مقطر شسته شد و سپس به مدت ٤٨ ساعت در آون با دمای ٥٥ درجه سلسیوس خشک شد. مقدار نیتروژن نمونه‌ها با دستگاه کلدال اندازه‌گیری و ناپدید شدن نیتروژن در هر یک از قسمت‌های دستگاه گوارش بر اساس رابطه-های مربوطه (مک نیون و همکاران ۲۰۰۲) برآورد شد.

جدول۱- ترکیب شیمیایی کنجاله سویا قبل و بعد از عمل آوری مورد استفاده در آزمایش (درصد)

Table 1-Chamical composition of raw and treated soybean meal (as percent)

تیمارها Treatments	ماده خشک Dry matter	چربی خام Ether extract	پروتئین خام Crud protein	خاکستر Ash
کنجاله سویای خام Raw soybean meal	94.80	6.21	45.60	7.50
کنجاله سویای تف داده شده Roasted soybean meal	94.20	6.88	45.73	7.10
کنجاله سویای عمل‌آوری شده با پرتو گاما Gamma irradiated soybean meal	95.80	6.07	45.64	7.20
کنجاله سویای عمل‌آوری شده با پرتو الکترون Electron beam irradiated soybean meal	94.00	6.87	45.47	7.20
کنجاله سویای عمل‌آوری شده با پرتو مایکروویو Microwave irradiated soybean meal	95.40	6.34	45.38	7.90
کنجاله سویای عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز Infrared irradiated soybean meal	94.10	6.67	45.73	7.80

تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین با استفاده از کیسه‌های نایلونی

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌ها با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی انجام شد (ارسکف و مکدونالد ۱۹۷۹). برای انجام این آزمایش از چهار رأس گوسفند نر بالغ مغانی با میانگین وزن زنده ۲ ± ٦١ کیلوگرم و دارای فیستولای شکمبه استفاده شد. حیوانات در جایگاه‌های انفرادی با ابعاد ۱ × ۲ متر و دارای آخور و آبخوری مجزا نگهداری شدند و در سطح نگهداری با جیره حاوی ۸۵ درصد علوفه خشک یونجه و ۱۵ درصد کنسانتره (به ترتیب ۲۵، ٤٦/٧، ۱۱/۳، ۱۵، ۱، ۰/۵ و ۰/۵ درصد دانه ذرت، دانه جو،کنجاله تخم پنبه، کنجاله سویا، کربنات کلسیم، مکمل مواد معدنی و مکمل ویتامین) به‌صورت جیره کاملاً مخلوط و در ساعت ۸ صبح و ٤ عصر تغذیه شدند. برای تعیین تجزیه‌پذیری نیتروژن مقدار ۵ گرم ماده خشک از نمونه سویای آسیاب شده در ٤ تکرار در داخل کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ٤٨ میکرومتر با ابعاد ۱۵×۱۰ سانتی‌متر) ریخته و در زمان‌های ۲، ٤، ۸، ١٦و ٢٤ ساعت در داخل شکمبه (٤ کیسه در داخل شکمبه هر گوسفند) قرار داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر، کیسه‌ها از درون شکمبه خارج و بلافاصله با جریان آب سرد شسته شد. چهار کیسه از هر نمونه بدون انکوباسیون در شکمبه (زمان صفر)، مشابه با شرایط کیسه‌های قرار داده شده در شکمبه نیز شستشو شد. سپس کیسه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ٦٠ درجه سلسیوس به مدت ٤٨ ساعت، وزن شد و تجزیه‌پذیری ماده خشک در شکمبه تعیین شد. نیتروژن کل نمونه‌های باقیمانده در کیسه‌ها نیز به منظور محاسبه تجزیه‌پذیری نیتروژن، اندازه‌گیری شد. میزان تجزیه‌پذیری (ناپدید شدن) ماده خشک و نیتروژن کل در زمان‌های معین و تجزیه‌پذیری مؤثر آن‌ها در نرخ

عبور ۵ درصد در ساعت، ضرایب تجزیه‌پذیری a (بخش سریع تجزیه)، b (بخش کند تجزیه) و c (ثابت نرخ تجزیه) با استفاده از نرم‌افزار Neway و رابطه‌های زیر محاسبه شد:

$$P= a + b (1-e^{-ct})$$
$$ED = a + [(b\times c) / (c+k_p)]$$

P= پتانسیل تجزیه‌پذیری یا ناپدید شدن در زمان t، ED= درصد تجزیه‌پذیری مؤثر، a= بخش سریع تجزیه، b= بخش کند تجزیه، c= ثابت نرخ تجزیه، k_p= ثابت نرخ خروج شیرابه هضمی از شکمبه، t= زمان ماندگاری نمونه در شکمبه (ساعت)، e= عدد نپر (۲/۷۱۸)

مدل آماری طرح و تجزیه واریانس داده‌ها

داده‌های بخش‌بندی پروتئین و قابلیت هضم بر اساس مدل آماری $Y_{ij} = \mu + T_i + + e_{ij}$ و بنابر طرح کاملاً تصادفی آنالیز شد. در این مدل Y_{ij} متغیر وابسته، μ میانگین کل جامعه برای صفت مورد نظر، T_i اثر تیمار (روش عمل‌آوری) و e_{ij} اثر خطای آزمایشی است. داده‌های مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌ها نیز در قالب طرح بلوک کامل تصادفی و بر اساس مدل آماری $Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ijk}$ با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (۱۹۸۵) تجزیه واریانس شدند. در این مدل Y_{ijk} متغیر وابسته، T_i اثر تیمار (روش عمل‌آوری)، B_j اثر بلوک (گوسفندها)، μ میانگین کل جامعه برای صفت مورد نظر، e_{ijk} اثر خطای آزمایشی است. میانگین تیمارها برای هر صفت اندازه‌گیری شده در سطح آماری ۵ درصد با هم مقایسه شدند. همچنین مقایسه گروهی کنجاله سویا عمل آوری نشده با کنجاله سویا پرتوتابی شده نیز انجام شد.

جدول ۲- اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله سویا (درصد از پروتئین خام)

Table 2-The effect of different irradiation processing methods on various sections of soybean meal protein (as percent of crud protein)

بخش پروتئین Section of protein	تیمارها Treatments: پرتوتابی نشده No Irradiated	پرتوتابی شده با گاما Gamma Irradiated	پرتوتابی شده با الکترون Electron beam Irradiated	پرتوتابی شده با مایکروویو Microwave Irradiated	پرتوتابی شده با مادون قرمز Infrared Irradiated	SEM	P-value	مقایسه گروهی Group comparison
A	4.04	2.98	3.22	2.60	3.58	0.46	0.36	0.07
B_1	56.60^{a}	43.94^{c}	44.65^{c}	50.06^{b}	42.14^{c}	0.77	<0.01	<0.01
B_2	32.36^{b}	43.77^{a}	39.47^{a}	40.02^{a}	42.57^{a}	1.28	<0.01	<0.01
B_3	6.13^{c}	7.90^{bc}	11.61^{a}	6.45^{c}	10.63^{ab}	0.95	<0.01	0.02
C	0.86	1.40	1.04	0.87	1.07	0.18	0.32	0.2

a,b,c: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ۵ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

a, b, c: The means with the same letter in the rows are not differ (P>0.05)

نتایج و بحث

بخش‌های مختلف پروتئین

اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله سویا در جدول ۲ گزارش شده است. اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر بخش‌های B_1، B_2 و B_3 معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). در صورتی‌که بر بخش‌های A و C معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). بیشترین مقدار بخش B_1 در کنجاله سویا عمل آوری نشده و کمترین مقدار آن

در کنجاله سویا پرتوتابی شده وجود داشت (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار بخش B_2 در کنجاله سویا پرتوتابی شده و کمترین مقدار آن در کنجاله سویا عمل آوری نشده وجود داشت (P<۰/۰۵).

در آزمایش فتحی نسری و همکاران (۲۰۰۸) حرارت دادن کنجاله سویا سبب کاهش نیتروژن غیر پروتئینی (A)، پروتئین قابل حل در بافر (B_1) و پروتئین غیرقابل حل در شوینده اسیدی (C) و افزایش پروتئین قابل حل در شوینده خنثی (B_2) و پروتئین غیرقابل حل در شوینده خنثی (B_3) شد. در گزارش فاکس و همکاران (۲۰۰۳) برشته کردن و اکسترود کردن دانه کامل سویا و همچنین برشته کردن و اکسترود کردن کنجاله سویا باعث کاهش نیتروژن غیر پروتئینی (A) و پروتئین قابل حل در بافر (B_1) و افزایش پروتئین قابل حل در شوینده خنثی (B_2)، پروتئین غیرقابل حل در شوینده خنثی (B_3) و پروتئین غیرقابل حل در شوینده اسیدی (C) شد.

با توجه به اینکه قسمت بیشتر بخش نیتروژن غیرپروتئینی (بخش A) از اسیدهای آمینه آزاد و پپتیدها تشکیل شده است؛ کاهش این بخش در اثر عمل آوری می تواند به دلیل تغییر شکل پپتیدها و کاهش قابلیت حل شدن و رسوب کردن آنها باشد. بخش عمده پروتئین‌های دانه سویا از گلبولین‌ها و آلبومین‌ها تشکیل شده است که حساسیت بالایی به حرارت دارند. پرتوتابی با اثر بر پروتئین حقیقی قابل حل و غیر فعال شدن نقاط عمل آنزیم‌های میکروبی، تجزیه پروتئین را کاهش می‌دهد. پرتوتابی با ایجاد تغییرات ساختمانی، اکسیداسیون اسیدهای آمینه، شکستن پیوندهای کووالانسی و تشکیل رادیکال‌های آزاد سبب تشکیل ژل می‌شود در نتیجه در دسترس بودن گروه‌های شیمیایی برای عمل آنزیم‌های پروتئولیتیک میکروبی سرعت و مقدار تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه کاهش می‌یابد. دلیل افزایش بخش B_2 و B_3 پروتئین خام کنجاله‌های عمل‌آوری شده، افزایش آب گریزی سطح مولکول پروتئین به دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیرکوالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه در اثر پرتوتابی است. با توجه به این که گروه‌های جانبی اسیدآمینه آب گریز، گروه فعال شیمیایی آنزیم های بیشترین مقدار بخش B_3 در کنجاله سویا پرتوتابی شده با الکترون و کمترین مقدار آن در کنجاله سویا عمل آوری نشده و پرتوتابی شده با میکروویو وجود داشت (P<۰/۰۵). احتمالاً روش‌های عمل‌آوری با تغییر شکل پپتیدها، محلولیت آن‌ها را کاهش داده و بنابراین رسوب می‌کنند. بخش عمده پروتئین‌های دانه سویا از گلبولین‌ها و آلبومین‌ها تشکیل شده است که حساسیت بالایی به حرارت دارند (ون سوست ۱۹۹٤).

پپسین، تریپسین و کیموتریپسین است، این عمل‌آوری شرایط مناسبی برای فعالیت بیشتر آنزیم‌های تریپسین و کیموتریپسین فراهم می‌کند (موری و همکاران ۲۰۰۳). در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل فرض بر این است که بخش پروتئین غیرقابل حل در شوینده اسیدی در شکمبه تجزیه نمی‌شود. این بخش با صدمه حرارتی رابطه مستقیمی دارد (مجون و همکاران ۲۰۱۰)؛ لذا درجه حرارت مناسب و کنترل شده طی پرتوتابی حرارتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در آزمایش حاضر کاهش بخش C می‌تواند به دلیل افزایش تجزیه دیواره سلولی و آزاد شدن پروتئین متصل به آن باشد.

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام با روش کیسه‌های نایلونی

اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه-پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله سویا در جدول ۳ آمده است. اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش سریع تجزیه (a) و ثابت نرخ تجزیه (c) ماده خشک معنی‌دار بود (P<۰/۰۵)، اما بر بخش کند تجزیه (b) معنی‌دار نبود (P>۰/۰۵). بیشترین و کمترین مقدار بخش سریع تجزیه (a) به‌ترتیب در کنجاله سویا عمل آوری نشده و پرتوتابی شده با الکترون وجود داشت (P<۰/۰۵). با توجه به مقایسه‌های گروهی، پرتوتابی

کنجاله سویا سبب کاهش معنی‌دار ثابت نرخ تجزیه (c) در مقایسه با کنجاله سویای خام شد (P<۰/۰۵). بیشترین تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک در کنجاله سویا عمل‌آوری نشده و پرتوتابی شده با الکترون و کمترین آن در کنجاله سویا پرتوتابی شده با مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵). فتاح و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که پرتوتابی سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک شد علت کاهش تجزیه پذیری ماده خشک می تواند به دلیل تشکیل کمپلکس هایی بین ترکیبات پروتئینی و غیرپروتئینی مثل نشاسته و کاهش دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به آن‌ها باشد.

جدول ۳- اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله سویا (درصد)

Table 3- The effect of different irradiation processing methods on degradation parameters and effective degradability of dry matter (as percent)

صفات Traits	تیمارها Treatments					SEM	P-value	مقایسه گروهی Group comparison
	پرتوتابی نشده No Irradiated	پرتوتابی شده با گاما Gamma Irradiated	پرتوتابی شده با الکترون Electron beam Irradiated	پرتوتابی شده با مایکروویو Microwave Irradiated	پرتوتابی شده با مادون قرمز Infrared Irradiated			
بخش سریع تجزیه (a) High degradation section (a)	45.23^{a}	41.38^{ab}	40.33^{b}	41.58^{ab}	42.55^{ab}	1.48	<0.01	<0.01
بخش کند تجزیه (b) Low degradation section (b)	42.78	52.45	47.70	51.28	44.64	3.26	0.36	0.14
ثابت نرخ تجزیه (c) Degradation rate (c)	0.29^{a}	0.03^{b}	0.06^{b}	0.03^{b}	0.03^{b}	0.09	0.04	0.03
تجزیه‌پذیری مؤثر (درصد) Effective degradability(as percent)	65.60^{a}	60.93^{ab}	64.33^{a}	59.58^{ab}	57.98^{b}	1.80	0.04	0.05

a,b: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ۵ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

a, b: The means with the same letter in the rows are not differ (P>0.05)

پرتوتابی با ژلاتینه کردن نشاسته و پروتئین و محدود شدن تجزیه پذیری آن ها می تواند سبب کاهش تجزیه پذیری ماده خشک شود. در پرتوتابی حرارتی با توجه به شدت و طول مدت حرارت، واکنش بیوشیمیایی بین پروتئین ها اتفاق می افتد که نتیجه آن اتصالاتی بین زنجیره های پلی پپتیدی است که به آنزیم های پروتئاز به علت ممانعت فضایی مقاومند. این واکنش ها عمدتاً بین اسید آمینه لیزین و گروه آمیدی اسیدهای آمینه آسپارتیک، آلانین و گلوتامیک اتفاق می افتد. اسید آمینه های لیزین، آرژنین، متیونین و سیستئین به حرارت بیشتر از بقیه اسیدهای آمینه حساس‌ترند. پرتو مادون قرمز تجزیه پذیری شکمبه ای را به وسیله افزایش بخش

کند تجزیه و نرخ ثابت تجزیه این بخش در قسمت های مختلف مواد خوراکی بخصوص در پروتئین خام کاهش می دهد حداکثر سودمندی از عمل آوری حرارتی زمانی بدست می آید که مواد خوراکی تجزیه نشده در شکمبه بخصوص پروتئین در روده حیوان هضم شوند (مصطفی و همکاران ۲۰۰۲). اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله سویا در جدول ٤ آمده است. اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش سریع تجزیه (a)، بخش کند تجزیه (b) و ثابت نرخ تجزیه (c) معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). بیشترین مقدار بخش سریع تجزیه (a) در کنجاله سویا عمل آوری نشده و کمترین مقدار آن در کنجاله سویا پرتوتابی شده با مادون قرمز وجود داشت ($P<۰/۰۵$). بیشترین و کمترین مقدار بخش کند تجزیه (b) به‌ترتیب در کنجاله سویا پرتوتابی شده با میکروویو و کنجاله سویا عمل‌آوری نشده وجود داشت ($P<۰/۰۵$). بیشترین مقدار ثابت نرخ تجزیه (c) در کنجاله سویا عمل آوری نشده و کمترین مقدار آن در کنجاله سویا پرتوتابی شده وجود داشت ($P<۰/۰۵$). اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله سویا معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$)، ولیکن تفاوت معنی‌داری بین روش‌های مختلف مشاهده نشد.

نتایج این مطالعه با نتایج بعضی محققان (علی‌بخشی و همکاران ۱۳۸۸، ابراهیمی و تقی نژاد ۲۰۱۱، اولیوریا و فرانکا ۲۰۰۲، صادقی و همکاران ۲۰۰۵، شورنگ و همکاران ۲۰۰۷) مطابقت داشت. علی بخشی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه اثر دزهای ۱۵ و ۳۰ پرتوتابی الکترون بر فراسنجه های مختلف تجزیه پذیری پروتئین دانه سویا، تفاوت معنی دار بین فراسنجه های مختلف تجزیه پذیری ماده خشک وآلی دانه سویا را با افزایش دز پرتوتابی تا ۳۰ کیلوگری گزارش کردند. درصد بخش سریع تجزیه پروتئین خام (a) در دز۱۵ کیلوگری ۳٦/۳۷ ودر دز۳۰ کیلو گری ۲۸/٦۲ بود که بیانگر کاهش معنی دار بخش سریع تجزیه (a) پروتئین سویای خام نسبت به سویای عمل آوری نشده است. ابراهیمی و تقی نژاد (۲۰۱۱) نیز اثر دزهای ۱۵، ۳۰ و ٤٥ کیلوگری پرتو الکترون را روی قابلیت هضم پروتئین برخی دانه های روغنی مطالعه و گزارش کردند که متناسب با افزایش دز مقدار هضم پروتئین افزایش پیدا کرد. اولیوریا و فرانکا (۲۰۰۲) و صادقی و همکاران (۲۰۰۵) اثرات مثبت پرتو مایکروویو را در افزایش کیفیت پروتئین گزارش کردند. در مطالعه صادقی و همکاران (۲۰۰۵) عمل‌آوری کنجاله سویا پرتو مایکروویو به‌مدت ٤ دقیقه؛ و در مطالعه شورنگ و همکاران (۲۰۰۷) پرتوتابی کنجاله سویا با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری سبب کاهش بخش سریع تجزیه (a)، افزایش بخش کند تجزیه (b) و کاهش ثابت نرخ تجزیه (c) و تجزیه پذیری مؤثر پروتئین خام در مقایسه با کنجاله سویای خام شد. فلاویو و آپنتن (۱۹۹۷) گزارش کردند که فرآیندهای حرارتی سبب ایجاد تغییرات ساختمانی در پروتئین‌ها و افزایش آبگریزی سطح آنها می‌شوند. افزایش آبگریزی سطح پروتئین به دلیل شکسته شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیرکووالانسی و در نتیجه تغییر ساختمان پروتئین است. پرتوتابی مادون قرمز قابلیت حل شدن پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد و این کار را از طریق ایجاد پیوندهای عرضی در زنجیره‌های پروتئین و رسوب پروتئین‌ها انجام می‌دهد. قابلیت حل شدن پروتئین‌ها به نوع اسیدهای آمینه سطح آن‌ها بستگی دارد. اسیدهای آمینه آبگریز بسیاری در ساختمان پروتئین‌های کروی وجود دارند که در درون پروتئین پنهان شده‌اند. پرتوتابی مادون قرمز گروه‌های غیر قطبی اسیدهای آمینه را در سطح پروتئین قرار می‌دهد، بنابراین قابلیت حل شدن پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد. از طرفی واکنش‌های آبگریز با افزایش رسوب پروتئین‌ها سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین‌ها می‌شوند (ارسکف و مکدونالد ۱۹۷۹).

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم برون تنی ماده خشک و پروتئین خام با روش آنزیمی

اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم برون‌تنی ماده خشک و پروتئین خام کنجاله سویا معنی‌دار بود (P<۰/۰۵ ؛ جدول۵). بیشترین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام در کنجاله سویا عمل آوری نشده و کمترین آن در کنجاله سویا پرتوتابی شده وجود داشت (P<۰/۰۵). بیشترین قابلیت هضم برون تنی ماده خشک و پروتئین خام کنجاله سویا در تیمارهای پرتوتابی شده و کمترین مقدار آن در کنجاله سویای عمل آوری نشده وجود داشت (P<۰/۰۵). در آزمایش ابراهیمی و تقی نژاد (۲۰۰۱) اندازه‌گیری قابلیت هضم کنجاله سویای عمل-آوری شده با پرتو گاما با دز ٤٥ کیلوگری با روش آنزیمی، در آزمایش فتحی نسری و همکاران (۲۰۰۸) اندازه‌گیری قابلیت هضم کنجاله سویای برشته با روش کیسه‌های نایلونی متحرک و در آزمایش شورنگ و همکاران (۲۰۰۷) اندازه‌گیری قابلیت هضم کنجاله سویای عمل‌آوری شده با پرتو گاما با دز ۵۰ کیلوگری به روش کیسه‌های نایلونی متحرک نشان داد که پرتوتابی سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین خام کنجاله سویا می‌شود.

جدول ۴- اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله سویا (درصد)

Table 4- The effect of different irradiation processing methods on degradation parameters and effective degradability of crude protein (as percent)

صفات Traits	تیمارها Treatments					SEM	P-value	مقایسه گروهی Group comparison
	پرتوتابی نشده No Irradiated	پرتوتابی شده با گاما Gamma Irradiated	پرتوتابی شده با الکترون Electron beam Irradiated	پرتوتابی شده با مایکروویو Microwave Irradiated	پرتوتابی شده با مادون قرمز Infrared Irradiated			
بخش سریع تجزیه (a) High degradation section (a)	38.35^{a}	35.10^{ab}	34.96^{ab}	35.24^{ab}	33.16^{b}	1.10	0.03	<0.01
بخش کند تجزیه (b) Low degradation section (b)	34.96^{b}	51.06^{ab}	49.07^{ab}	56.90^{a}	51.14^{ab}	5.29	0.05	0.02
ثابت نرخ تجزیه (c) Degradation rate (c)	0.086^{a}	0.028^{b}	0.039^{b}	0.028^{b}	0.030^{b}	0.014	0.03	0.01
تجزیه‌پذیری مؤثر (درصد) Effective degradability(as percent)	57.92	54.12	55.62	54.82	52.12	3.50	0.63	0.05

a,b: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ۵ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

a, b: The means with the same letter in the rows are not differ (P>0.05)

پرتوتابی باعث ایجاد پیوند عرضی بین بنیان‌های آزاد آمین درون پروتئین و بین پروتئین‌ها می‌شود و از این طریق موجب شکسته شدن و انعقاد پروتئین شده و قابلیت حل شدن آنها را در شکمبه کاهش می‌دهد. واکنش اصلی، واکنش غیرآنزیمی میلارد است که بین گروه‌های آلفا آمینوی باقیمانده‌های لیزین و گروه‌های کربونیل قندهای احیاکننده مانند گلوکز، فروکتوز و پنتوزها به وجود می‌آید. سایر باقی‌مانده‌های اسیدهای آمینه (به‌طور عمده سیستئین) نیز ممکن است با قندهای احیا کننده واکنش نشان دهند.

افزایش قابلیت هضم کنجاله‌ها در اثر پرتوتابی را می‌توان به شکستن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیرکوالانسی، تغییر موقعیت اسیدهای آمینه و در نهایت افزایش آبگریزی سطح پروتئین‌ها ارتباط داد. با توجه به این که گروه‌های جانبی اسیدآمینه آبگریز، گروه فعال شیمیایی آنزیم‌های پپسین، تریپسین و کیموتریپسین هستند (موری و همکاران ۲۰۰۳)، این عمل‌آوری شرایط مناسبی برای فعالیت بیشتر تریپسین و کیموتریپسین در روده را فراهم می‌کند. بخشی از اثرات پرتوتابی در افزایش قابلیت هضم می‌تواند مربوط بر اثرات پرتو در کاهش اثرات ترکیبات ضدتغذیه ای باشد. آلدریچ و همکاران (۱۹۹۷) با حرارت دادن دانه سویا در دمای ۱۴۰ و ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان دادند که نشخوارکنندگان نیز مانند تک معده‌ای‌ها به اثرات بازدارنده تریپسین حساس هستند.

جدول ۵- اثر پرتوتابی بر قابلیت هضم شکمبه‌ای و برون‌تنی ماده خشک و پروتئین خام کنجاله سویا (درصد)

Table 5-Effect of irradiation on ruminal dry matter and crude protein digestion and *in vitro* digestibility of soybean meal (as percent)

ترکیب شیمیایی Chemical composition	قابلیت هضم Digestibility	تیمارها Treatments					SEM	P-value	مقایسه گروهی Group comparison
		پرتوتابی نشده No Irradiated	پرتوتابی شده با گاما Gamma Irradiated	پرتوتابی شده با الکترون Electron beam Irradiated	پرتوتابی شده با مایکروویو Microwave Irradiated	پرتوتابی شده با مادون قرمز Infrared Irradiated			
ماده خشک Dry matter	شکمبه‌ای Ruminal	60.0^{a}	47.0^{b}	48.5^{b}	50.7^{ab}	48.2^{b}	3.50	0.03	<0.01
	برون تنی *In vitro*	65.2^{b}	67.2^{b}	68.7^{ab}	69.5^{ab}	69.7^{ab}	1.60	0.04	0.02
پروتئین خام Crude protein	شکمبه‌ای Ruminal	74.0^{a}	47.7^{b}	59.5^{b}	59.5^{b}	52.0^{b}	4.40	<0.01	<0.01
	برون تنی *In vitro*	87.5^{b}	94.0^{a}	97.2^{a}	94.7^{a}	96.0^{a}	1.30	<0.01	<0.01

a,b: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ۵ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

a, b: The means with the same letter in the rows are not differ (P>0.05).

پرتوهای گاما و الکترون از جمله پرتوهای یون‌ساز هستند و عمل‌آوری با این پرتوها بدون افزایش دما در مواد خوراکی صورت می گیرد (اداره غذا و دارو ۱۹۹۷)؛ در مقابل، مایکروویو یا مادون قرمز با افزایش

حرکت و برخورد مولکول های آب داخل مواد خوراکی و در نهایت تولید گرما سبب پخته شدن آن‌ها می‌شود. مزیت پرتوتابی غیر حرارتی این است که این نوع پرتوتابی می‌تواند بدون ایجاد هیچگونه اثر سوئی بر کیفیت مواد خوراکی با تغییر ساختار پروتئین و دیواره سلولی سبب بهبود قابلیت هضم و زیست فراهمی مواد مغذی شود (الیوریا و فرانکا ۲۰۰۲، صادقی و همکاران ۲۰۰۵). در مقابل، به‌علت نفوذ امواج کوتاه در ساختارهای درونی مواد خوراکی حرارت یکنواخت ایجاد شده و به‌دلیل تبدیل شدن کامل انرژی الکترومغناطیس به حرارت، بازده این روش نزدیک به ۱۰۰ درصد است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این آزمایش نشان داد که پرتوتابی به‌طور مؤثری سبب تغییر در بخش‌های نیتروژن و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و افزایش قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا در مقایسه با سویای خام شد. با توجه به نتایج این آزمایش تفاوت چندانی بین اثرات پرتوهای مورد استفاده در این آزمایش مشاهده نشد ولیکن به‌نظر می‌رسد پرتوهای مادون قرمز و الکترون به ترتیب روش‌های مطلوبی برای عمل‌آوری کنجاله سویا باشند.

منابع مورد استفاده

Alibakhshi I, Nikkhah A, Shawrang P and Zareii A, 2009. Study of electron beam irradiation effect on protein degradability parameters and antinutritional components in soybean. Animal Science and Research Journal 5(2): 125-132 (In Persian).

AOAC, 2000. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, MD, USA.

Aldrich CJ, Ingram S and Coldfelter JR, 1997. Assessment of postruminal amino acid digestibility of roasted and exruded whole soybeans with the precision-fed rooster assay. Journal of Animal Science 75: 3046-3051.

Awawdeh MS, Titgemeyer EC, Drouillard JS, Beyer RS and Shirley JE, 2007. Ruminal degradability and lysine bioavailability of soybean meals and effects on performance of dairy cows. Journal of Dairy Science 90: 4740–4753.

Ebrahimi-Mahmoudabadi SR and Taghinejad-Roudbaneh M, 2011. Investigation of electron beam irradiation effects on anti-nutritional factors, chemical composition and digestion kinetics of whole cotton, soybean and canola seeds. Radiation Physic and Chemistry 80: 1441-1447.

Fattah A, Sadeghi AA, Nikkhah A, Chamani M and Shawrang P, 2013. Degradation characteristics of infrared processed barley grain and its feeding effects on ruminal pH of sheep. Iranian Journal of Applied Animal Science 3(3): 451-457.

Fathi Nasri MH, France J, Danesh Mesgaran M and Kebreab E, 2008. Effect of heat processing on ruminal degradability and intestinal disappearance of nitrogen and amino acids in Iranian whole soybean. Livestock Science 113: 43–51.

Fellows PJ, 2000. Food Processing Technology: Principles and Practice, Third Edition. CRC press, Oxford, UK.

Folawiyo YL and Apenten RKO, 1997. The effect of heat- and acid-treatment on the structure of rapeseed albumin (napin). Food Chemistry 58: 237-243.

Food and Drug Administration, 1997. Irradiation in the production, processing and handling of food. Federal Reg 51: 13376-13399.

Fox DG, Tedeschi LO, Tylutki TP, Russell JB, Van Amburgh ME, Chase LE, Pell AN and Overton TR, 2003. The Cornell net carbohydrate and protein system model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Animal Feed Science and Technology 112: 29–78.

Licitra C, Hernandez TN and Van Soest PJ, 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology 57: 347-358.

McNiven MA, Prestlokken E, Mydland LT and Mitchell AW, 2002. Laboratory procedure to determine protein digestibility of heat-treated feedstuffs for dairy cattle. Animal Feed Science and Technology 96: 1–13.

Mjoun K, Kalscheur KF, Hippen AR and Schingoethe DJ, 2010. Ruminal degradability and intestinal digestibility of protein and amino acids in soybean and corn distillers grains products. Journal of Dairy Science 93: 4144–4154.

Murray RK, Granner DK, Mayes PA and Rodwell VW, 2003. Harper's Biochemistry. 26th ed., McGraw-Hill, New York, USA.

Mustafa AF, McKinnon JJ, Christensen DA and He T, 2002. Effects of micronization of flaxseed on nutrient disappearance in the gastrointestinal tract of steers. Animal Feed Science and Technology 95: 123-132.

Oliveira MEC and Franca AS, 2002. Microwave heating of foodstuffs. Journal of Food Engineering 53: 347-359.

Ørskov ER and McDonald IM, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science 92: 499-503.

Rosa J and Barbosa-Canovas GV, 2003. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 43: 265-285.

Sadeghi AA and Shawrang P, 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. Animal Feed Science and Technology 127: 113-123.

Sadeghi AA, Nikkhah A and Shawrang P, 2005. Effects of microwave irradiation on ruminal degradation and *in vitro* digestibility of soybean meal. Animal Science 80: 369–375.

Sadeghi AA, Nikkhah A and Shawrang P, 2007. Effects of microwave irradiation on ruminal protein degradation and intestinal digestibility of cottonseed meal. Animal Feed Science and Technology 106: 176–181.

SAS, 1996. User’s Guide. SAS Institute, Cary, NC, USA.

Shawrang P, Nikkhah A, Zare-Shahneh A, Sadeghi AA, Raisali G and Moradi Shahrebabak M, 2007. Effects of gamma irradiation on protein degradation of soybean meal in the rumen. Animal feed Science and Technology 134: 140–151.

Van Soest PJ, 1994. Nutritional Ecology of the Ruminants. 2nd Edition. Cornell University Press. NY. USA.

The effects of irradiation from gamma, electron beam, microwave and infrared sources on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of soybean meal

P Shawrang[1], S Jalilian[2], F Fatahnia[2], AA Sadeghi[3] and AA Mehrabi[2]

Received: September 7, 2015 Accepted: September 12, 2017

[1]Assistant Professor, Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj, Iran
[2]MSc Graduated Student, Assistant Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Animal Science, Ilam University, Ilam, Iran
[3]Department of Animal Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[*]Corresponding author: pshawrang@nrcam.org

Introduction: In the past four decades, a vast knowledge has been accumulated on the chemical and biological effects of ionizing irradiation, which has contributed to promote its utilization. The chemical changes resulting from the irradiation of proteins food have been the subject of considerable study. These studies demonstrated both fragmentation and aggregation of food proteins. Application of ionizing radiation treatment of foods on an industrial scale started at the beginning of the 1980s after the joint FAO/IAEA/WHO expert committee accepted the application of a 10 kGy overall average dose for foods. Also in 1981, the U.S. Food and Drug Administration concluded that food irradiated at 50 kGy or less can be considered safe for human consumption. However, gamma irradiation of most human foods is prohibited in many countries. Most other countries that permit food irradiation also require labeling (Shawrang et al 2007). There has always been an interest in food and feed industrial applications of microwaves to improve conventional processes, with the intent of taking advantage of its rapid heating characteristics to reduce energy costs. Since it is cost competitive compared to other methods of heating, it has been used for cereal drying on a large scale. Microwave irradiation seems applicable to cereals, especially for starch, but it has not been used on a commercial scale (Sadeghi and Shawrang 2006). Soybean meal is a commonly used protein supplement for ruminants. Proteins of this supplement are extensively degraded in the rumen. Several feed processing methods (physical and chemical methods) are known to protect soybean meal proteins from ruminal fermentation. However, most of these treatments adversely affect the nutritional characteristics of the final product. No information is available concerning the comparison of gamma, electron beam, infrared and microwave irradiations on ruminal crude protein degradation Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS). This study was conducted to compare the effects of gamma, electron beam, infrared and microwave irradiations on the ruminal protein degradability, intestinal digestibility and nitrogen fractionation of soybean meal based on CNCPS method.

Material and methods: The Soy meal samples were obtained from the Jahan oilseed manufactory located 40 kmwest of Tehran (Iran). The CP, Ether extract (EE), and ash content were 456, 62.1 and 75 g/kg DM, respectively.Treatments were included: 1: raw meal, 2: gamma irradiated meal, 3: electron irradiated meal, 4: microwave irradiated meal, 5: infrared irradiated meal. Gamma irradiation was carried out in a cobalt-60 irradiator equipped with 3.7 PBq (100 kCi) activity at 20°C. The dose rate determined by Fricke dosimetry was 3.7 kGy/h. Three polyethylene packages of samples were irradiated in a gamma cell (Co-60) at doses of 50 kGy in the presence of air (Shawrang et al 2007). For electron beam irradiation, samples were packed in 30 cm × 40 cm × 5 cm nylon bags (0.5 mm thickness) and exposed to electron beam irradiation at the Yazd radiation processing center to dose 45 kGy at room temperature by a Rhodotron accelerator model TT200. All samples were irradiated at fixed beam energy of 10 MeV and the required irradiation doses were obtained by adjusting the electron beam parameters (electron beam current, Conveyor speed and

etc.). Double side irradiation (exposure to both sides) was performed for uniform dose delivery. The dose was determined with cellulose triacetate films. Similarly, packed seed samples without irradiation served as control. Microwave irradiation was done at dose of 800 W for 4 min (sadeghi et al 2005) and infrared dose was set at 1000 W for 30 seconds. For chemical analysis, 10 g were ground to pass a 1mm screen and stored at −18 ◦C. Four adult male Moghani wethers with ruminal fistula were used for determination of ruminal degradability of dry matter and protein by nylon bag technique (Ørskov and McDonald 1979). Intestinal digestibility was measured with a three step enzymatic procedure. Proximate chemical analysis and nitrogen fractions were determined according to AOAC (AOAC 2000). Data were analyzed using the general linear models procedure of SAS (SAS 1996). Experimental data were submitted to a Duncan analysis to determine whether the different treatments yielded significantly different results.

Results and discussion: There were no significant differences in dry matter, ether extract, protein and ash between the irradiated and non-irradiated or raw grains. The highest and the lowest rapidly degradable fraction (*a*) of dry matter was found in raw meal and electron beam irradiation, respectively. There were no significant differences among gamma, electron and microwave irradiation for rapidly degradable fraction (*a*) of dry matter. The lowest and the highest constant rate of dry matter degradability (*c*) was found in processed meal and raw meal, respectively ($P<0.05$). The rapidly degradable fraction (*a*) of crude protein was the highest in raw meal and the lowest in infrared irradiated meal. There were no significant differences among gamma, electron and microwave irradiation for rapidly degradable fraction (*a*) of protein. The highest and the lowest slowly degradable fraction (*b*) of protein were found in infrared irradiated meal and raw meal, respectively. Constant rate of degradability (*c*) was the lowest in processed meal and the highest in raw meal ($P<0.05$). Infrared irradiation decreased the water soluble fraction, increased the potentially degradable fraction and decreased the degradation rate of the *b* fraction of crude protein. Effective protein degradability of soybean meal was not affect by irradiation methods ($P>0.05$). Effect of different treatments on B_1, B_2 and B_3 fractions was significant compared to raw meal ($P<0.05$), but it was not significant on A and C fractions ($P>0.05$). The highest and the lowest intestinal digestibility of crude protein were found in processed meals and raw meal, respectively.

Conclusion: This study indicates that the degradation characteristics of soybean meal proteins could be altered by processing method especially infrared and electron beam irradiation. Irradiation processing of soybean meal resulted in decrease of effective protein degradation in the rumen and increase of intestinal crude protein digestibility by creating the cross-linking and aggregation of the polypeptide chains. Based upon these results, the best irradiation methods for soybean meal were suggested to be infrared and electron beam, respectively.

Keywords: Intestinal digestibility, Irradiation, Protein fractions Ruminal degradability, Soy bean meal