نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۳۹، تابستان ۱۴۰۲
ص‌ص: ۷۱~۸۸

تاثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و گوارش پذیری برون‌تنی دانه سویا

• **مامک رضائیان تبریزی[۱]، سید روح الله ابراهیمی محمود آباد [*۲]، امیر فتاح[۲]**

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس

۲- گروه علوم دامی، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت : اردیبهشت ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش : مهر ۱۴۰۱

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۲۷۴۳۱۸۳

Email: sayyedroohollah.ebrahimi@yahoo.com

شناسه دیجیتال (DOI):10.22092/ ASJ.2022.358414.2221

چکیده

هدف از انجام این مطالعه، مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، و گوارش پذیری برون‌تنی دانه سویا بود. بدین منظور از ۳ راس گاو نژاد دشتیاری مجهز به فیستولای شکمبه‌ای برای آزمایش تجزیه پذیری استفاده شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد، دانه سویا پرتودهی شده با گاما در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، دانه سویا پرتودهی شده با الکترون در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلو گری، دانه سویا پرتودهی شده با مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه، دانه سویا تف داده شده به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه بودند. پرتوتابی با گاما و الکترون در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، تف دادن به‌مدت ۱۵ دقیقه و پرتوتابی ماکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه سبب کاهش ماده خشک دانه سویا شدند ($P<۰/۰۵$). همچنین پرتوتابی با ماکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه و تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه پروتئین خام دانه سویا را در مقایسه با دانه عمل‌آوری نشده کاهش داد ($P<۰/۰۵$). عصاره اتری قابل دسترس دانه سویا عمل‌آوری شده با پرتوتابی با گاما، الکترون و مایکروویو و تف دادن در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دانه سویا در اثر پرتوتابی الکترون در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، مایکروویو به‌مدت ۳ دقیقه و تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه در مقایسه با تیمار شاهد کاهش یافت ($P<۰/۰۵$). خاکستر دانه سویا تحت تاثیر عمل‌آوری شده قرار نگرفت. پروتئین غیرقابل حل در شوینده اسیدی با پرتوتابی گاما با دز ۲۰ کیلوگری در مقایسه با سایر تیمارهای آزمایشی افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). پرتوتابی گاما و الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و همچنین تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه سبب کاهش بخش سریع تجزیه (a) و افزایش در بخش کند تجزیه (b) ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد ($P<۰/۰۵$). پرتوتابی گاما و الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و تف دادن به‌مدت ۱۵ دقیقه، تجزیه پذیری موثر ماده خشک دانه سویا را در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار عمل‌آوری نشده کاهش داد ($P<۰/۰۵$). پرتوتابی گاما با دز های ۲۰ و ۴۰ کیلوگری تجزیه پذیری پروتئین خام دانه سویا را در سرعت های عبور ۲ درصد در ساعت نسبت به تیمار پرتوتابی نشده کاهش داد ($P<۰/۰۵$). نتایج این آزمایش نشان داد که پرتوتابی الکترون و مایکروویو سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام شد و اثر منفی بر گوارش پذیری نداشتند. بنابراین، عمل‌آوری با پرتو الکترون و مایکروویو جهت بهبود ارزش تغذیه ای دانه سویا جهت استفاده در جیره نشخوارکنندگان پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پرتوتابی، دانه سویا، تجزیه پذیری، گوارش پذیری.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 139 pp: 71-88

Effect of different processing methods on chemical composition, ruminal degradability parameters and *in vitro* digestibility of soybean seeds

By: Mamak Rezaian Tabrizi[1], Sayyed Roohollah Ebrahimi Mahmoudabad*[1], Amir Fattah[1]
1: Department of Animal Science, Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: May 2022 **Accepted: October 2022**

This study was conducted in order to compare the effect of different processing methods on chemical composition, ruminal degradability parameters and *in vitro* digestibility of soybean seed. For this purpose, three ruminally fistulated bulls were used to measure ruminal degradability of crude protein (CP) and dry matter (DM) by nylon bag technique. Treatments were included: 1) raw soybean seeds (control), 2) gamma ray (GR) irradiated soybean seeds at doses of 20 and 40 kGy, 3) electron beam (EB) irradiated soybean seeds at doses of 20 and 40 kGy, 4) microwave irradiated soybean seeds for 15 and 30 minutes, 5) heated soybean seeds for 15 and 30 minutes. The result showed that GR, EB and microwave irradiation at doses of 20 and 40 kGy and heating for 15 minutes reduced the DM content of soybean seed compared to unprocessed treatment. It is observed that microwave irradiation for 3 and 5 minutes and heating for 15 and 30 minutes reduced the CP of soybean seeds compared to unprocessed meal. GR, EB and microwave irradiation at doses of 20 and 40 kGy reduced acid detergent fiber (ADF) of soybean seed. However, acid detergent insoluble CP (ADICP) increased with GR at a dose of 20 kGy. The results showed that GR and EB at doses of 20 and 40 KGy and also heating for 15 and 30 minutes reduced the rapidly degradable fraction (a) of DM and CP, and increased slowly degradable fraction (b) of DM and CP ($P < 0.05$). GR and EB at doses of 20 and 40 KGy and heating for 15 minutes reduced the effective rumen degradability (ERD) of DM at rumen out flow rates of 2, 5 and 8 %/h ($P<0.05$). GR at doses of 20 and 40 kGy reduced the ERD of CP at rumen outflow rates of 2 %/h compared to the control. The results showed that the DM digestibility (DMD) of soybean seed was highest in unprocessed treatment and lowest in GR treatment at doses of 20 and 40 kGy and roasting for 30 minutes. It is observed that the digestibility of organic matter (DOM) and DOMD of soybean seed decreased by GR at a dose of 40 kGy ($P < 0.05$).This study indicates that the degradation characteristics of soybean seeds could be altered by processing method especially GR and EB irradiation. Irradiation processing of soybean seeds decreased effective ERD of CP and increased rumen undegradable protein (RUP) of soybean seeds by creating the cross-linking and aggregation of the polypeptide chains. EB irradiation reduced the a fraction and increased the b fraction of DM and CP without negatively affecting digestibility. Therefore, EB and microwave irradiations are recommended for improving nutritional value of soybeans for using in ruminant diets.

Key words: Aloe vera gel, Antibody titers, Broiler chicken, Blood metabolites.

مقدمه

نشخوارکنندگان برای تامین نیازهای نگهداری، رشد، تولید مثل، تولید شیر و سنتز پروتئین‌های شیر به پروتئین خام نیاز دارند. پروتئین خام در جیره نشخوارکنندگان به دو بخش قابل تجزیه در شکمبه و غیر قابل تجزیه در شکمبه تقسیم شده و وظایف متفاوتی دارد. پروتئین‌های قابل تجزیه در شکمبه (پپتیدها، اسید آمینه آزاد و آمونیاک) برای رشد میکروب‌ها و تولید پروتئین میکروبی و پروتئین‌های غیرقابل تجزیه در شکمبه به‌عنوان دومین منبع مهم اسید آمینه قابل جذب در روده عمل می‌کنند (National Research Council، ۲۰۰۱). سویا به‌همراه فرآورده‌های جانبی به‌دست آمده از آن به‌عنوان یکی از اجزای جیره گاوهای شیری مورد استفاده قرار می‌گیرد و به عنوان یک منبع مناسب از اسیدهای آمینه ضروری در جیره‌های بر پایه علوفه، در تغذیه

نشخوارکنندگان استفاده می‌شود. دانه سویا به‌خاطر داشتن مقادیر بالای انرژی و پروتئین در تغذیه نشخوارکنندگان پرتولید مورد توجه است (Lacroxia و همکاران، ۲۰۰۲)؛ اما بخش اعظمی از پروتئین سویا توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه تجزیه می‌شود (Awawdeh و همکاران ، ۲۰۰۷). همچنین تخمیر شکمبه‌ای سریع اسیدهای آمینه با اتلاف نیتروژن آمونیاکی همراه است. به‌طوریکه ۷۵تا ۸۰ درصد از نیتروژن مصرف شده به‌وسیله گاوهای شیرده از طریق مدفوع و ادرار دفع می‌شود (Tamminga، ۱۹۹۲؛ Busquet و همکاران، ۲۰۰۶). روش‌های فیزیکی، شیمیایی یا ترکیبی از آن‌ها (Mcniven و همکاران، ۲۰۰۲) و پرتوتابی گاما، الکترون، مادون قرمز و مایکروویو (Shawrang و همکاران، ۲۰۰۶) از جمله روش‌های کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه می‌باشند. در سال‌های اخیر استفاده از پرتوتابی در پژوهش‌های تغذیه دام توجه محققان را به‌خود جلب کرده است. پرتوهای گاما و الکترون از جمله پرتوهای یون‌ساز و دارای انرژی کافی برای یونیزه کردن اتم‌ها می‌باشند. پرتو گاما از جمله عوامل فیزیکی تغییردهنده ساختمان پروتئین می‌باشد که در حضور آب و با تولید رادیکال‌های آزاد از طریق رادیولیز سبب ایجاد تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پروتئین ها (ژله‌ای شدن و به هم چسبیدن پروتئین) و در نتیجه کاهش حل شدن (Ciesla و همکاران، ۲۰۰۰) و همچنین کاهش در دسترس بودن آن برای آنزیم‌های پروتئولیتیک میکروبی می‌شود (Van Soest، ۱۹۹۴). پرتو الکترون حداکثر می‌توانند تا عمق ۸ سانتی‌متری در مواد غذایی نفوذ نمایند و برای پرتوتابی مواد خوراکی که می‌توانند به صورت لایه‌های باریک درآیند، مفید است. از جمله مزایای عمل آوری با پرتوتابی الکترون و گاما عدم آسیب به مواد غذایی (همچون پروتئین‌ها)، عدم ایجاد فرآورده‌های غیر قابل هضم (مانند فرآورده‌های میلارد)، افزایش گوارش پذیری پروتئین خام و حذف آلودگی‌های قارچی و باکتریایی بدون داشتن اثرات جانبی به مواد خوراکی است (مجد و اردکانی، ۱۳۸۲؛ انوار و همکاران، ۲۰۱۵). پرتو تابی الکترون و گاما با شکستن پیوندهای لیگنین-کربوهیدرات در افزایش زیست فراهمی ترکیبات کربوهیدراتی موجود در مواد لیگنوسلولزی نیز نقش ایفا می‌کند (Al-Masri ، ۱۹۹۹). این عمل موجب لیگنین‌زدایی، انهدام ساختار و دپلی‌مریزه‌شدن ترکیبات سلولزی و کاهش مقدار الیاف خام و دیواره سلولی می‌شود. پرتوهای یون‌ساز با ایجاد پیوندهای عرضی و اتصال پروتئین‌ها به هم و تشکیل ژل سبب ایجاد پیوندهای مقاوم به هضم آنزیمی و کاهش دسترسی میکروب‌ها و آنزیم‌های میکروبی به سوبسترا و در نتیجه افزایش پروتئین عبوری از شکمبه به روده می‌شوند (Van Soest، ۱۹۹۴؛ Lee و همکاران، ۲۰۰۵). در برخی پژوهش‌ها عمل‌آوری مواد خوراکی با پرتوهای گاما و الکترون سبب کاهش گوارش پذیری ماده خشک در شرایط برون‌تنی شده است (Zarei و همکاران، ۲۰۱۶).

مایکروویو یکی از مهمترین روش‌های استخراج ترکیبات با ارزش گیاهی است. امواج کوتاه مانند امواج نور یا امواج رادیویی، قسمتی از طیف الکترومغناطیسی انرژی هستند که دو میدان الکتریکی و قطب‌های مغناطیسی را به‌طور همزمان برای آن‌ها فراهم می‌کنند. هرچقدر طول موج کمتر باشد، انرژی بیشتری توسط موج منتقل می‌شود (Siddhuraj و همکاران، ۲۰۰۲). از اثرات پرتوتابی مایکروویو می‌توان به افزایش قابلیت دسترسی پروتئین و مواد غذایی به‌دلیل کاهش عوامل ضدتغذیه‌ای (Habiba، ۲۰۰۲) و جلوگیری از واکنش‌های بیوشیمیایی در خوراک (Zhaoland and Verpoorte، ۲۰۰۷) اشاره کرد. عمل‌آوری با امواج مایکروویوویو نسبت عمل‌آوری حرارتی معمولی همچون تف دادن با بازده زیاد، گرما را با عمق نفوذ زیاد به درون مواد خوراکی وارد می‌کند، به‌همین دلیل احتمال سوزاندن سطح خوراک و تولید فرآورده‌های میلاردی مقاوم کاهش می‌یابد (Fellows، ۲۰۰۰). با توجه به اهمیت و ترویج پرتودهی در جهت بهبود مواد خوراکی، این آزمایش با هدف مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و گوارش پذیری برون‌تنی دانه سویا انجام شد.

مواد و روش‌ها

عمل‌آوری دانه سویا

پژوهش حاضر در واحد گاوداری موسسه تحقیقاتی علوم دامی کشور اجرا شد. ابتدا دانه سویا رقم ولیامز[1] از شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی تهیه و سپس رطوبت آن با استفاده از دستگاه ژرمیناتور به ۲۵ درصد رسانده شد (Shawrang و همکاران، ۲۰۰۷). پرتوتابی گاما در پژوهشکده کاربرد پرتوها وابسته به سازمان انرژی اتمی در دمای اتاق ۲۲ درجه سلسیوس و با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلو گری انجام شد. پرتوتابی الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری در مرکز پرتودهی یزد با استفاده از شتاب دهنده الکترون رودترون مدل TT200 [2] انجام شد. عمل‌آوری با مایکروویو، در مایکروفر خانگی مدل LG22 با قدرت ۸۰۰ وات به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه، و عمل‌آوری با تف دادن در آون در دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه در آزمایشگاه بخش تغذیه دام دانشگاه آزاد اسلامی شهر قدس انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل شاهد، دانه سویا پرتودهی شده با گاما در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، دانه سویا پرتودهی شده با الکترون در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلو گری، دانه سویا پرتودهی شده با مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به مدت ۳ و ۵ دقیقه، دانه سویا تف داده شده به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه بودند.

ترکیب شیمیایی

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی دانه سویا شامل ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر طبق روش‌های استاندارد AOAC (۲۰۰۰)، و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با استفاده از روش ون سوست و همکاران (Van Soest و همکاران، ۱۹۹۱) انجام شد. همچنین پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی نیز طبق روش لیسیترا و همکاران (Licitra و همکاران، ۱۹۹۶) تعیین شد.

تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین دانه سویا

تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام با استفاده از روش ارسکوف و مکدونالد (Orskov and Mcdoland,۱۹۷۹). اندازه گیری شد. در این روش، ابتدا دانه سویا با الک ۲ میلی‌متری آسیاب شد. سپس مقدار ۶ گرم نمونه از هر تیمار به‌مدت صفر، ۲، ۴، ۶، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت در شکمبه مجهز به فیستولای شکمبه‌ای انکوبه شد. دام‌ها مطابق با استاندارد تکنیک کیسه‌های نایلونی، در سطح نگهداری و با جیره کاملاً مخلوط (جدول ۱) روزانه دو نوبت در ساعات ۸/۰۰ و ۱۶/۰۰ از دو هفته قبل و طی دوره آزمایش تغذیه شدند. پس از سپری شدن زمان انکوباسیون، کیسه‌های حاوی مواد باقی‌مانده از داخل شکمبه خارج و بلافاصله با آب سرد در ماشین لباسشویی شستشو شدند. پس از خشک کردن در آون در دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت، اختلاف وزن محتویات کیسه‌ها قبل و بعد از شستشو به‌عنوان مقدار ناپدید شدن ماده خشک در زمان صفر در نظر گرفته شد. مقدار پروتئین خام مواد باقی‌مانده داخل کیسه‌ها برای تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری اندازه گیری شد.

[1] Williams

[2] TT200 Rhodotron Accelerator

جدول ۱- اجزای خوراکی و ترکیب شیمیایی جیره گاوها

مواد خوراکی	درصد ماده خشک
یونجه	۵۰/۰۰
کاه گندم	۱۶/۶۷
جو	۲۶/۶۷
دانه ذرت	۳/۳۳
سبوس گندم	۱/۶۶
کنجاله پنبه دانه	۱/۳۳
مکمل ویتامینی و معدنی	۰/۳۴
ترکیب شیمیایی جیره	**درصد ماده خشک**
ماده خشک	۸۸/۸۸
پروتئین خام	۱۳/۰۴
الیاف نامحلول در شوینده خنثی	۳۷/۲۹
الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	۳۴/۹۹
کلسیم	۰/۷۴
فسفر	۰/۲۶
انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)	۲/۲۷

فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و پروتئین خام با استفاده از رابطه‌های ذیل محاسبه شد (Orskov and Mc Donald, 1979.

$$P=a+b\ (1-e^{(-ct)})$$

$$ERD = a + \left[\frac{b \times c}{c \times k}\right]$$

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

گوارش‌پذیری برون تنی ماده خشک و ماده آلی

به‌منظور تعیین گوارش پذیری دانه سویا از روش هضم دو مرحله ای استفاده شد (Tilly and Terry، ۱۹۶۳). ابتدا نمونه‌ها با الک ۱ میلی‌متری آسیاب شده و توسط آون خشک شدند. سپس ۰/۵ گرم از هر نمونه در ارلن ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. برای هر نمونه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. ۳ ارلن هم بدون عمل‌آوری و به‌عنوان شاهد استفاده شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح و از طریق فیستولای شکمبه‌ای جمع‌آوری شد و در آزمایشگاه به‌وسیله دو لایه پارچه مخصوص صاف و استفاده شد. پس از وارد نمودن گاز دی اکسید کربن، درب ارلن بسته شد و در حمام آب گرم ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. به‌منظور تهیه بزاق مصنوعی، مقادیر ۹/۸ گرم بی‌کربنات سدیم، ۳/۷۱ گرم فسفات هیدروژن دی سدیم دهیدرات، ۰/۵۷ گرم کلرید پتاسیم، ۰/۴۷ گرم کلرید سدیم و ۰/۱۲ گرم سولفات منیزیم در آب مقطر دوبار تقطیر حل شده و در بالن ۱ لیتری به حجم رسانده شد. برای هر نمونه مقدار ۴۰ میلی‌لیتر از بزاق مصنوعی استفاده شد. حدود نیم ساعت قبل از

هضم بی‌هوازی، ۱ میلی‌لیتر محلول ۴ درصد(حجم/وزن) کلرید کلسیم به هر لیتر بزاق مصنوعی اضافه شد و با وارد کردن گاز دی اکسیدکربن به‌مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، pH محلول به ۶/۹ تا ۷ کاهش داده شد. سپس بزاق مصنوعی و مایع شکمبه که در حمام آب گرم قرار داشتند، به‌نسبت ۴ به ۱ حجم بزاق مصنوعی و حجم مایع شکمبه با هم مخلوط شدند. سپس به محلول به‌دست آمده به‌مدت ۴ تا ۵ دقیقه گاز دی اکسیدکربن وارد گردید. به هریک از ارلن‌های شاهد و حاوی نمونه، ۵۰ میلی‌لیتر از مخلوط تهیه شده از بزاق مصنوعی و شیرابه شکمبه اضافه شد. بلافاصله به‌مدت ۱۵ ثانیه به داخل هر ارلن گاز دی اکسیدکربن وارد و درب هریک محکم بسته شد. سپس ارلن‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. در طی این مدت، ارلن‌ها در فواصل زمانی معین و مساوی تکان داده شدند. در پایان ۴۸ ساعت هضم بی‌هوازی، تمامی ارلن‌ها از حمام آب گرم خارج شده و درب آن‌ها به‌آرامی باز شد. سپس طی ۳ مرحله، ۶ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک ۲۰ درصد به هر ارلن اضافه شد. بعد از آن ۲ میلی‌لیتر محلول پپسین ۲۰ درصد نیز اضافه شد. سپس درب تمامی ارلن‌ها را بسته و به‌مدت ۴۶ ساعت در حمام آب گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مرحله نیز مطابق مرحله قبل ارلن‌ها تکان داده شدند. پس از پایان مرحله هضم مواد خوراکی با پپسین، نمونه‌های موجود در هر ارلن با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره ۴۱، قیف بوخنر و پمپ خلأ صاف شده و محتویات هضم نشده به آرامی از قیف بوخنر جدا شده و پس از تا نمودن، به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس وزن خشک آن‌ها تعیین شد. سپس کاغذهای صافی به‌مدت ۴ ساعت در کوره الکتریکی با دمای ۵۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار به‌منظور تعیین مقدار خاکستر خام مواد هضم نشده موجود در کاغذهای صافی صورت گرفت.

آنالیز آماری

داده‌های ترکیبات شیمیایی و گوارش پذیری بر اساس مدل آماری $Y_{ij}=u + T_i + e_{ij}$ و در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز شدند. در این مدل Y_{ij} متغیر وابسته، u میانگین کل جامعه برای صفت مورد نظر، T_i اثر تیمار (روش عمل‌آوری) و $\mathbf{e_{ij}}$ اثر خطای آزمایشی است. داده‌های مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌ها نیز در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و بر اساس مدل آماری $Yij=u + Ti + B_j+ e_{ijk}$ با استفاده از رویه GLM نرم افزار آماری SAS (۲۰۰۰) تجزیه واریانس شدند. در این مدل Y_{ij} متغیر وابسته، T_i اثر تیمار (روش عمل‌آوری)، B_j اثر بلوک، u میانگین کل جامعه برای صفت مورد نظر، e_{ijk} اثر خطای آزمایشی است.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی دانه سویا در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان دادند که پرتوتابی با گاما والکترون در دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری، تف دادن به‌مدت ۱۵ دقیقه و پرتوتابی مایکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه، سبب کاهش ماده خشک دانه سویا نسبت به دانه سویای عمل‌آوری نشده شد ($P<۰/۰۵$). پرتوتابی ماکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه و تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه، پروتئین خام دانه سویا را در مقایسه با دانه عمل‌آوری نشده کاهش داد ($P<۰/۰۵$). عصاره اتری قابل دسترس دانه سویا توسط پرتوتابی و تف دادن افزایش یافت. عمل‌آوری دانه سویا تاثیری بر خاکستر نداشت و تقریباً مشابه تیمار عمل‌آوری نشده بود. به‌جز دزهای ۴۰ کیلوگری پرتو گاما و ۲۰ کیلوگری پرتو الکترون، سایر تیمارها مقدار الیاف نامحلول در شونده خنثی را کاهش دادند. کمترین مقدار در نمونه‌های پرتوتابی شده با دز ۲۰ کیلوگری پرتو الکترون و تف داده شده به‌مدت ۳۰ دقیقه مشاهده شد. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی دانه سویا در اثر پرتوتابی با الکترون و گاما در دز های ۲۰ و ۴۰

کیلوگری، مایکروویو به‌مدت ۳ دقیقه و تف دادن به‌مدت ۱۵ دقیقه در مقایسه با تیمار عمل‌آوری نشده کاهش معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). به‌طور کلی کاهش در مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی در اثر تیمارهای مختلف از روند خاصی تبعیت نکرد. اما در مجموع پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون تاثیر بیشتری از فرایندهای مایکروویو و تف دادن در کاهش الیاف نامحلول در شوینده اسیدی داشتند. مطالعات انجام گرفته در خصوص مقایسه تاثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری فیزیکی بر ارزش تغذیه‌ای و ترکیب شیمیایی منابع خوراکی پروتئینی از جمله تخم پنبه محدود هستند. Taghinejad-Roudbaneh و همکاران (۲۰۱۶) مشاهده کردند که پرتوهای گاما (دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری) ، فرایند تف دادن (۱۵ و ۳۰ دقیقه) و پرتوتابی مایکروویو (۲، ۴ و ۶ دقیقه) تاثیری بر ترکیب شیمیایی از جمله اجزای دیواره سلولی تخم پنبه نداشتند و بر خلاف مطالعه حاضر، اختلاف میان آن‌ها معنی‌دار نبود. پروتئین نامحلول در شوینده اسیدی با پرتوتابی گاما با دز ۲۰ کیلوگری نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی افزایش یافت (P<۰/۰۵). شیخعلی پور و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که پرتوتابی دانه ماشک با مایکروویو به‌مدت ۳ دقیقه با قدرت ۸۰۰ وات تأثیری بر ترکیبات شیمیایی آن نداشت. پیرعدل و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که پرتوتابی رقم‌های مختلف جو با مایکروویو به‌مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه با قدرت ۹۰۰ وات سبب کاهش ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی آن شد. Shawrang و همکاران (۲۰۰۶ و ۲۰۰۸) و Farag (۱۹۹۸) نیز گزارش کردند پرتو گاما در دزهای کمتراز ۷۵ کیلوگری اثر معنی داری بر ماده خشک، رطوبت، خاکستر، پروتئین خام و الیاف خام دانه و کنجاله سویا و کنجاله کانولا نداشته است. در مطالعه بابایی و همکاران (۱۳۹۵) و اصلانیان (۱۳۹۴) پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون تاثیری بر محتوی عصاره اتری (چربی خام) بقایای ماش و کاه سویا نداشتند. شاید در مطالعه حاضر کاهش نسبت دیواره سلولی باعث بالارفتن نسبت عصاره اتری شده باشد. Tahan و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات پرتوتابی الکترونی با دزهای ۵۰، ۱۰۰ کیلوگری بر ترکیب شیمیایی کنجاله سویا و کنجاله کلزا گزارش کردند که الیاف نا محلول در شوینده خنثی در تیمارهای پرتو داده شده کمتر از نمونه‌های پرتوداده نشده بود. Shahbazi و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که پرتوتابی الکترون در دزهای بالاتر از ۱۰۰ کیلوگری به‌طور معنی‌داری سبب کاهش مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول درشوینده اسیدی کاه گندم و جو شد. پرتوتابی قادر به لیگنین زدایی، تجزیه پلی‌مرها و تخریب ساختارهای کریستالی سلولز است که سبب کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی می‌شود (Al-Masri، ۱۹۹۹). پرتوهای گاما از طریق ایجاد یون و تشکیل رادیکال‌های آزاد، بر پیوندهای هیدروژنی بین زنجیره‌ای و پیوندهای گلیکوزیدی داخل مولکولی سلولز تاثیر گذاشته و باعث تضعیف نیروهای واندروالسی می‌شوند. آن‌ها همچنین پیوند بین لیگنین-سلولز و لیگنین-همی سلولز را می‌شکنند. بدین ترتیب باعث تجزیه یا دپلیمریزاسیون اجزای دیواره سلولی و کاهش الیاف خام می‌شوند (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵). Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی اثرات پرتو گاما با دز های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری و مایکروویو به‌مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه با قدرت ۸۰۰ وات بر دانه منداب گزارش کردند که پرتوتابی تاثیری بر ترکیبات شیمیایی دانه منداب بومی نداشت.

جدول ۲- مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی دانه سویا

	ماده خشک (درصد)	پروتئین خام (درصد)	عصاره اتری (درصد)	خاکستر (درصد)	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد)	پروتئین نا محلول در شوینده اسیدی (درصد)
عمل‌آوری نشده	۹۰/۵۰^{a}	۳۷/۷۵^{a}	۱۴/۸۵^{f}	۵/۰۷	۱۹/۲۳^{ab}	۱۶/۱۷^{a}	۵/۱۰^{d}
پرتوتابی با گاما ۲۰	۸۵/۶۶^{f}	۳۸/۲۶^{a}	۱۸/۰۴^{ed}	۵/۵۵	۱۶/۶۱^{d}	۱۰/۶۲^{d}	۸/۶۵^{a}
پرتوتابی با گاما ۴۰	۸۷/۵۶^{g}	۳۸/۰۳^{a}	۱۸/۵۲^{cde}	۵/۳۲	۱۹/۷۲^{a}	۱۱/۴۵^{cd}	۶/۲۲^{b}
پرتوتابی با الکترون ۲۰	۷۰/۵۲^{e}	۳۷/۸۱^{a}	۱۸/۱۵^{cde}	۵/۷۶	۱۹/۹۴^{a}	۱۲/۶۰^{cd}	۵/۶۱^{bcd}
پرتوتابی با الکترون ۴۰	۷۶/۰۵^{d}	۳۷/۷۶^{a}	۱۹/۵۵^{ab}	۵/۵۴	۱۶/۷۵^{d}	۱۲/۳۸^{cd}	۳/۳۵^{e}
پرتوتابی با مایکروویو ۳ دقیقه	۸۵/۰۹^{fcb}	۳۶/۱۲^{b}	۱۹/۶۳^{a}	۵/۶۲	۱۸/۲۵^{c}	۱۳/۳۵^{bc}	۵/۶۸^{cbd}
پرتوتابی با مایکروویو ۵ دقیقه	۸۴/۲۵^{fc}	۳۰/۷۰^{c}	۱۸/۸۸^{bc}	۵/۸۲	۱۸/۴۹^{bc}	۱۴/۷۵^{ab}	۶/۰۷^{bc}
تف دادن ۱۵ دقیقه	۸۷/۰۵^{gb}	۲۲/۰۱^{e}	۱۸/۷۳^{cd}	۵/۷۲	۱۷/۹۵^{c}	۱۶/۴۷^{a}	۵/۴۴^{cd}
تف دادن ۳۰ دقیقه	۹۰/۷۶^{a}	۲۷/۲۴^{d}	۱۷/۹۵^{e}	۵/۷۷	۱۶/۵۵^{d}	۱۵/۲۵^{ab}	۶/۱۷^{b}
خطای استاندارد	۰/۳۷	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۱۶	۰/۲۷	۰/۵۸	۰/۲۰
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۲۳	/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱

در هر ستون میانگین‌های با حروف متفاوت، از لحاظ آماری تفاوت معنی دار دارند.

تجزیه‌پذیری ماده خشک

اثر تیمارها بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای موثر ماده خشک دانه سویا در جدول ۳ نشان داده شده است. پرتوتابی و تف دادن دانه سویا به‌طور معنی‌داری بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری موثر بود؛ به‌طوریکه پرتوتابی گاما و الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و همچنین تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه دانه سویا سبب کاهش بخش سریع تجزیه (a) و افزایش بخش کند تجزیه (b) ماده خشک در مقایسه با تیمار پرتوتابی نشده و پرتوتابی با مایکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه شد ($P<۰/۰۵$). پرتوتابی گاما و الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و همچنین تف دادن ۱۵ دقیقه، تجزیه پذیری موثر ماده خشک دانه سویا را در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت نسبت به تیمارهای پرتوتابی نشده و پرتوتابی شده با مایکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه به‌طور معنی‌داری کاهش داد ($P<۰/۰۵$). به‌طور کلی پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون در مقایسه با پرتوتابی مایکروویو و فرایند تف دادن توانایی بیشتری در کاهش تجزیه پذیری ماده خشک نمونه‌های تخم پنبه داشتند. در مقایسه بین پرتوهای یون‌ساز، پرتوهای یون-ساز گاما تاثیر بیشتری از تابش الکترون داشتند. نتایج تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک به‌دست آمده در این پژوهش پس از پرتوتابی با گاما با نتایج آزمایش‌های سایر محققین هماهنگی دارد (پیرعدل و همکاران ۱۳۹۸؛ Shawrang و همکاران ۲۰۰۶؛ قنبری و همکاران ۱۳۹۳). قنبری و همکاران (۱۳۹۳) گزارش کردند پرتو گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار تجزیه پذیری مؤثر ماده خشک را به‌ترتیب ۱۳/۱۵ و ۱۳/۵۶ درصد کاهش داد. مطالعات پیرعدل و همکاران (۱۳۹۸) نشان داد تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک دانه جو در سرعت‌های عبور ۲، ۵ رو ۸ درصد درساعت پس از پرتوتابی با پرتو گاما کاهش یافت؛ به‌طوری که بیشترین میزان کاهش در نرخ عبور ۸ درصد در ساعت مشاهده شد. نتایج آزمایش Shawrang و همکاران (۲۰۰۶)، نشان داد که پرتوتابی با پرتو گاما با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک کنجاله کانولا گردید. Fattah و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی تاثیر پرتوتابی بر تجزیه پذیری ماده خشک دانه جو گزارش کردند که پرتوتابی با اشعه مادون قرمز سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک شد. این محققین کاهش تجزیه پذیری ماده خشک را به

تشکیل پیوندهای بین ترکیبات پروتئین و غیرپروتئینی مثل نشاسته، و کاهش دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به آن‌ها مربوط دانستند. در یک مطالعه دیگر، اثرات پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه پذیری شکمبه‌ای ماده خشک کنجاله سویا بررسی شد. در نتایج بیشترین مقدار تجزیه‌پذیری در نمونه‌های عمل‌آوری نشده و کمترین مقدار در نمونه‌های عمل‌آوری شده با پرتو گاما، مادون قرمز، الکترون مشاهده شد (Shawrang و همکاران، ۲۰۱۷). در توافق با مطالعه حاضر، Golshan و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی اثرات پرتوتابی در دزهای مختلف بر فراسنجه‌های تخمیری دانه سویا و کنجاله سویا در شرایط برون تنی، گزارش کردند که پرتوتابی سبب کاهش بخش سریع تجزیه، افزایش بخش کند تجزیه و کاهش تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک شد. Ebrahimi و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی اثرات پرتو گاما بر تجزیه‌پذیری ماده خشک منداب اصلاح شده (کانولا) گزارش کردند که پرتوتابی سبب کاهش بخش سریع تجزیه و تجزیه پذیری موثر و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک دانه کانولا شد. Akbarian و همکاران (۲۰۱۰) گزارش کردند که پرتوتابی الکترون با دز ۶۳ کیلوگری، بخش سریع تجزیه، کند تجزیه و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک دانه سویا را به ترتیب افزایش، کاهش و افزایش داد.

در مطالعه‌ای دیگر، پرتوتابی کنجاله سویا با مایکروویو سبب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه شد و به‌دنبال آن نرخ تجزیه‌پذیری نیز روند کاهشی را نشان داد (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۵). در تحقیقی دیگر، Ghorbani و همکاران (۲۰۱۷) در بررسی اثر سطوح مختلف پرتوتابی گاما (۵۰ و ۷۵ کیلوگری) بر روند تجزیه‌پذیری دانه سویا گزارش کردند که پرتوتابی گاما موجب کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام و ماده خشک دانه سویا شد. بدین ترتیب سهم پروتئین خام عبوری افزایش یافت. Nobar (۲۰۱۱) گزارش کرد که عمل‌آوری دانه سویا با پرتو مایکروویو با قدرت ۹۰۰ وات به‌مدت ۳، ۴ و ۵ دقیقه، سبب افزایش بخش کند تجزیه و کاهش بخش سریع تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه پذیری موثر ماده خشک در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت در مقایسه با کنجاله سویای عمل‌آوری نشده شد. در مطالعه Taghinejad-Roudbaneh و همکاران (۲۰۱۱) در مجموع پرتوتابی گاما (۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری) ، مایکروویو (۲، ۴ و ۶ دقیقه) و تف دادن(۱۵ و ۳۰ دقیقه) بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک تخم پنبه تاثیر نداشتند.

جدول ۳- مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه سویا

روش‌های مختلف عمل‌آوری	فراسنجه‌های تجزیه پذیری[1]				تجزیه پذیری موثر ماده خشک در ثابت نرخ عبور (در ساعت)		
	a (درصد)	b (درصد)	a+b (درصد)	C (در ساعت)	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
عمل‌آوری نشده	۳۲/۶^{a}	۷۰/۱^{e}	۱۰۰/۱	۰/۰۸^{ab}	۸۸/۵^{a}	۷۵/۵^{a}	۶۷^{a}
پرتوتابی با گاما ۲۰	۱۹/۱^{d}	۸۳/۴^{a}	۱۰۲/۴	۰/۰۵۳^{c}	۷۹/۷^{d}	۶۲/۲^{e}	۵۲/۵^{f}
پرتوتابی با گاما ۴۰	۲۰/۳^{d}	۸۰/۶^{b}	۱۰۰/۹	۰/۰۶^{c}	۷۹/۷^{d}	۶۳/۰^{e}	۵۳/۶^{f}
پرتوتابی با الکترون ۲۰	۲۴/۲^{c}	۷۷/۳^{c}	۱۰۲/۰	۰/۰۷^{bc}	۸۳/۵^{c}	۶۸/۲^{d}	۵۹/۲^{e}
پرتوتابی با الکترون ۴۰	۲۵/۵^{c}	۷۵/۷^{cd}	۱۰۱/۲	۰/۰۸^{ab}	۸۶/۳^{b}	۷۲/۵^{c}	۶۳/۸^{d}
پرتوتابی با مایکروویو ۳ دقیقه	۳۱/۹^{a}	۷۰/۴^{e}	۱۰۲/۳	۰/۰۸^{ab}	۸۷/۴^{ab}	۷۴/۶^{abc}	۶۶/۵^{abc}
پرتوتابی با مایکروویو ۵ دقیقه	۳۲/۳^{a}	۶۶/۹^{e}	۱۰۲/۲	۰/۰۸^{a}	۸۸/۳^{a}	۷۵/۴^{ab}	۶۷/۳^{ab}
تف دادن ۱۵ دقیقه	۲۹/۱^{b}	۷۳/۶^{d}	۱۰۲/۸	۰/۰۷^{ab}	۸۷/۰^{ab}	۷۲/۹^{bc}	۶۴/۴^{cd}
تف دادن ۳۰ دقیقه	۲۷/۹^{b}	۷۴/۶^{d}	۱۰۲/۵	۰/۰۸^{ab}	۸۷/۳^{ab}	۷۳/۵^{abc}	۶۴/۸^{bcd}
خطای استاندارد	۰/۴۳	۰/۷۸	۰/۶۴	۰/۰۰۴	۰/۵۷	۰/۷۸	۰/۸۰
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۴۷۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
مقایسه گروهی	۰/۰۴۰	۰/۰۰۸	۰/۰۹۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳

a: بخش سریع تجزیه، b: بخش کند تجزیه و c: ثابت نرخ تجزیه.

میانگین‌های هر ستون با حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار هستند.

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام

اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر تجزیه پذیری شکمبه‌ای موثر پروتئین خام دانه سویا در جدول ۴ نشان داده شده است. پرتوتابی گاما و الکترون با دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری و همچنین تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه دانه سویا سبب کاهش بخش سریع تجزیه (a) و افزایش بخش کند تجزیه (b) در مقایسه با تیمار پرتوتابی نشده و پرتوتابی با مایکروویو به‌مدت ۳ و ۵ دقیقه شد ($P<۰/۰۵$). دزهای ۲۰ و ۴۰ کیلوگری پرتوهای گاما و الکترون تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام دانه سویا را در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت نسبت به شاهد کاهش دادند ($P<۰/۰۵$). لازم به ذکر است که در میان تیمارها، پرتوهای یون-ساز گاما توانایی بیشتری در کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام در مقایسه با تابش الکترون، پرتوتابی مایکروویو و فرایند تف دادن داشتند. در مطالعه Ghanabri و همکاران (۲۰۱۲)، پرتوگاما توانایی بیشتری در کاهش تجزیه پذیری پروتئین خام کنجاله پنبه داشت که موافق با پژوهش حاضر بود. در مطالعه Taghinejad-Roudbaneh و همکاران (۲۰۱۶) که اثرات پرتوتابی گاما (۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری) ، مایکروویو (۲، ۴ و ۶ دقیقه) و تف دادن(۱۵ و ۳۰ دقیقه) بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام تخم پنبه بررسی شد، به‌جز دز ۱۵ کیلوگری پرتو گاما و فرایند تف دادن به‌مدت ۱۵ دقیقه، سایر تیمارها باعث کاهش تجزیه شکمبه‌ای نمونه‌ها شدند. در مقایسه بین تیمارها، دز ۴۵ کیلوگری پرتو گاما و فرایند مایکروویو به‌مدت ۶ دقیقه بیشترین تاثیر را بر این صفت داشتند. در مطالعه Ghanbari و همکاران (۲۰۱۲) پرتوهای یون‌ساز گاما تاثیر بیشتری در کاهش فراسنجه‌های تجزیه پذیری و تجزیه پذیری موثر کنجاله پنبه دادند داشتند که مخالف با پژوهش حاضر بود Shawrang و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی اثرات پرتوتابی گاما

بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله سویا گزارش کردند که عمل‌آوری تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام را تحت تاثیر قرار داد. به‌طوریکه پرتودهی گاما با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری به‌ترتیب سبب کاهش بخش سریع تجزیه از ۱۹/۳ درصد در تیمار شاهد به ۱۲/۷، ۸/۱ و ۳/۵ درصد و افزایش بخش کند تجزیه از ۷۸/۱ درصد در تیمار شاهد به ۸۰/۲، ۸۶/۱ و ۸۹/۲ درصد شد. همچنین تجزیه پذیری موثر پروتئین خام در سرعت ۵ درصد در ساعت در اثر پرتوتابی گاما کاهش یافت. در تحقیقی اشعه گاما نیز در دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری مقدار ثابت نرخ تجزیه پروتئین خام کنجاله سویا را به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۹۷، ۳۰/۳۴ و ۶۲/۹۲ درصد کاهش داد. همچنین بیشترین کاهش در ثابت نرخ تجزیه در دز ۷۵ کیلوگری پرتوهای الکترون و گاما مشاهده شد (قنبری و همکاران،۱۳۹۳). Sadeghi و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی عمل‌آوری با مایکروویو با قدرت ۸۰۰ وات به‌مدت ۶ دقیقه گزارش کردند که پرتوتابی سبب کاهش بخش سریع تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه پذیری موثر پروتئین خام و افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله سویا شد. بر خلاف مطالعه حاضر، Mir و همکاران (۱۹۸۴) گزارش کردند که تف دادن در دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ساعت یا در ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه، اثری بر تجزیه پذیری پروتئین خام کنجاله نداشت. Oliveira and Franca (۲۰۰۲) بیان کردند که امواج مایکروویو با تولید حرارت سبب تشکیل کمپلکس پروتئین-پروتئین (تشکیل ژل) و کمپلکس پروتئین-کربوهیدرات و در نتیجه کاهش در دسترس بودن پروتئین برای میکروب‌های شکمبه می‌شوند. همچنین، حرارت با تغییر ساختمان پروتئین‌ها و ایجاد پل‌های عرضی در داخل زنجیره‌های پپتیدی و بین زنجیره‌های پپتیدی با کربوهیدرات‌ها، سبب کاهش قابلیت حل شدن پروتئین، کاهش قابلیت دسترسی پروتئین برای آنزیم‌های میکروبی و کاهش نرخ تجزیه آن در شکمبه می‌شود (Van Soest، ۱۹۹۴). افزایش بخش کند تجزیه پروتئین در عمل‌آوری با پرتو گاما به‌دلیل کاهش در دسترس بودن پروتئین برای میکروب‌های شکمبه و تغییر ساختار پروتئین ناشی از عمل‌آوری می‌باشد. پرتو گاما همانند حرارت دادن از جمله عوامل فیزیکی واسرشت کننده پروتئین است و در مواد خوراکی مرطوب سبب یونیزه شدن مولکول‌های آب به یون‌های فعال شده و با تولید پراکسید سبب ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی در پروتئین‌ها و واسرشتی و کاهش محلولیت آن‌ها می‌شود (Ciesla و همکاران، ۲۰۰۰). البته دلیل تمایز بین نتایج به‌دست آمده در آزمایش‌های مختلف با این تحقیق ممکن است با دزهای پرتوتابی، مدت زمان پرتوتابی با مایکروویو، میزان رطوبت و ترکیبات شیمیایی و ... ماده خوراکی مورد آزمایش مرتبط باشد.

جدول ٤- مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه سویا

	فراسنجه‌های تجزیه پذیری[1]					تجزیه پذیری موثر پروتئین خام در ثابت نرخ عبور (در ساعت)		
	a (درصد)	b (درصد)	a+b (درصد)	C (در ساعت)		۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۸
عمل‌آوری نشده	۳۸/۷^{a}	۶۳/۶^{d}	۱۰۲/۴	۰/۰۷^{abc}		۸۲/۳^{ab}	۷۸/۴^{a}	۶۶/۹^{a}
پرتوتابی با گاما ۲۰	۱۴/۵^{de}	۸۶/۷^{ab}	۱۰۱/۳	۰/۰۵^{c}		۷۷/۸^{c}	۵۹/۶^{d}	۴۹/۵^{e}
پرتوتابی با گاما ۴۰	۱۲/۵^{e}	۹۰/۱^{a}	۱۰۲/۶	۰/۰۵^{bc}		۷۸/۴^{c}	۵۹/۶^{d}	۴۹/۱^{e}
پرتوتابی با الکترون ۲۰	۱۵/۲^{cde}	۸۸/۰^{ab}	۱۰۳/۳	۰/۰۷^{abc}		۸۲/۹^{b}	۶۵/۶^{c}	۵۵/۴^{d}
پرتوتابی با الکترون ۴۰	۱۵/۳^{cde}	۸۵/۸^{ab}	۱۰۱/۱	۰/۰۸^{a}		۸۴/۵^{ab}	۶۸/۹^{bc}	۵۹/۱^{cd}
پرتوتابی با مایکروویو ۳ دقیقه	۲۵/۱^{b}	۷۷/۸^{c}	۱۰۲/۹	۰/۰۸^{a}		۸۷/۶^{a}	۷۳/۵^{ab}	۶۴/۵^{ab}
پرتوتابی با مایکروویو ۵ دقیقه	۲۴/۳^{b}	۷۶/۹^{c}	۱۰۱/۱	۰/۰۸^{a}		۸۶/۸^{ab}	۷۳/۱^{ab}	۶۴/۳^{ab}
تف دادن ۱۵ دقیقه	۲۱/۵^{b}	۸۱/۵^{bc}	۱۰۳/۱	۰/۰۷^{abc}		۸۵/۷^{ab}	۷۰/۲^{ab}	۶۳/۷^{ab}
تف دادن ۳۰ دقیقه	۱۹/۸^{bcd}	۸۳/۰^{abc}	۱۰۲/۸	۰/۰۸^{ab}		۸۶/۲^{ab}	۷۰/۸^{ab}	۶۴/۳^{ab}
خطای استاندارد	۱/۹۹	۲/۲۶	۰/۶۶	۰/۰۱		۱/۳۷	۱/۴۴	۱/۲۵
سطح معنی‌داری	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۱۸۶	۰/۰۳۴۲		۰/۰۰۸	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱
مقایسه گروهی	۰/۰۴۰	۰/۰۰۵	۰/۰۷۸	۰/۰۶۱		۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲

a: بخش سریع تجزیه، b: بخش کند تجزیه و c: ثابت نرخ تجزیه. میانگین‌های هر ستون با حروف غیر مشترک دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

گوارش پذیری برون‌تنی

اثر عمل‌آوری دانه سویا بر گوارش پذیری برون‌تنی در جدول ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان دادند که گوارش پذیری ماده خشک دانه سویا در تیمار عمل‌آوری نشده بیشترین مقدار، و در تیمار پرتوتابی گاما (۲۰ و ۴۰ کیلوگری) و تف دادن (۳۰ دقیقه) کمترین مقدار را داشت (P<۰/۰۵). گوارش پذیری ماده آلی دانه سویا در اثر پرتوتابی با گاما در دز ۴۰ کیلوگری کاهش معنی‌داری نسبت به تیمار عمل‌آوری نشده نشان داد (P<۰/۰۵). همچنین، گوارش پذیری ماده آلی در ماده خشک با پرتوتابی در دز ۴۰ کیلوگری در مقایسه با گروه شاهد کاهش یافت (P<۰/۰۵). به‌طور کلی همانگونه که مشخص است، تیمارهای اعمال شده یا تاثیری بر قابلیت هضم ماده آلی تخم پنبه نداشتند و یا اینکه آن را کاهش دادند. در مجموع پرتوتابی گاما باعث کاهش گوارش پذیری برون‌تنی ماده آلی، ماده خشک و ماده آلی در ماده خشک شدند. اما عمل‌آوری با پرتو الکترون، مایکروویو و فرایند تف دادن تاثیری بر این فراسنجه‌ها نداشت. در مطالعه Ghanbari و همکاران(۲۰۱۲) دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری پرتوهای یون-سازگاما و الکترون تاثیری بر قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله پنبه دانه نداشتند. در مطالعه Taghinejad-Roudbaneh و همکاران (۲۰۲۰) دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو گاما، تف دادن به‌مدت ۱۵ و ۳۰ دقیقه و پرتوتابی مایکروویو به‌مدت ۶ دقیقه به‌طور یکسانی باعث بهبود قابلیت هضم برون‌تنی تخم پنبه شد. Shishir و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند با افزایش زمان پرتوتابی با مایکروویو، سبب کاهش گوارش پذیری ماده خشک و ماده آلی قابل گوارش در ماده خشک شد؛ ولی ابراهیمی محموآباد و همکاران (۱۳۹۸) گزارش کردند پرتو مایکروویو سبب افزایش گوارش پذیری برون تنی پروتئین خام کنجاله منداب بومی شد. Dong و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که پرتو مایکروویو سبب کاهش گوارش پذیری پروتئین در شرایط برون

تنی شد. Fathi Nasri و همکاران (۲۰۰۸) با بررسی اثرات برشته کردن سویا گزارش کردند عمل‌آوری سبب افزایش گوارش پذیری پروتئین خام شد. ساز و کار کاهش گوارش پذیری در خوراک‌های عمل‌آوری شده توسط حرارت بسیار پیچیده است. ممکن است طی عمل آوری حرارتی واکنش‌های شیمیایی (از قبیل واکنش میلارد)، تغییر ساختار پروتئین و پیوندهای عرض بین پروتئین و کربوهیدرات تشکیل شود. این واکنش‌ها باعث تبدیل پروتئین خوراک به ترکیباتی مقاوم به هضم می‌شوند و مسئول کاهش گوارش پذیری ماده خشک و ماده آلی پس از عمل‌آوری با مایکروویو می‌باشند (Van Soest، ۱۹۹۴؛ NRC، ۲۰۰۱). مشابه با نتایج مطالعه حاضر، Zarei و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که پرتو گاما و الکترون در دزهای کمتر از ۲۰ کیلوگری به‌ترتیب سبب کاهش و عدم تغییر گوارش پذیری ماده خشک و ماده آلی دانه انار شد؛ ولی جلیلیان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که پرتوتابی گاما در دز ۵۰ کیلوگری سبب افزایش گوارش پذیری روده‌ای کنجاله آفتاب‌گردان شد. در مطالعه دیگری Shawrang و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که پرتودهی با دز ۵۰ کیلوگری گاما سبب افزایش گوارش پذیری سویا شد. همچنین در مطالعه دیگری گزارش شدکه پرتوتابی گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز سبب افزایش گوارش پذیری ماده خشک و پروتئین کنجاله سویا شد (Shawrang و همکاران، ۲۰۱۷). پرتوتابی سبب کاهش آسیب به مواد مغذی از جمله پروتئین‌ها، ایجاد نشدن فرآورده‌های غیرقابل هضم همچون فرآورده‌های میلارد، حذف آلودگی‌های میکروبی و قارچی از مواد خوراکی، حذف عوامل ضدتغذیه‌ای و افزایش گوارش پذیری مواد مغذی می‌شود (Ebrahimi و همکاران، ۲۰۱۰؛ Ciesla و همکاران، ۲۰۰۰). همچنین پرتوتابی باعث باز شدن و واسرشتی پروتئین و نمایان شدن اسیدهای آمینه آب‌گریز می‌شود. خاصیت آب‌گریزی باعث تراکم و به‌دنبال آن انعقاد و رسوب پروتئین شده و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای را کاهش، و گوارش پذیری روده‌ای را افزایش می‌دهد (Taghinejad و همکاران، ۲۰۰۹). Ghorbani و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که پرتودهی سبب افزایش گوارش پذیری آنزیمی خوراک و در نهایت سبب افزایش گوارش پذیری در کل دستگاه گوارش شد. Shawrang و همکاران (۲۰۰۶) افزایش گوارش پذیری کنجاله-ها در اثر پرتوتابی را مربوط به شکستن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیرکولانسی، تغییر موقعیت اسیدهای آمینه و در نهایت افزایش آب‌گریزی سطح پروتئین ها نسبت دادند. توضیح اینکه پرتوهای یون‌ساز مانند گاما و الکترون، از طریق واسرشتی باعث در معرض قرار دادن اسیدهای آمینه آبگریز می شوند که این باعث کاهش محلولیت پروتئین و درنتیجه کاهش تجزیه پذیری پروتئین در شکمبه می‌شود، اما در مقابل این بخش عبوری با نسبت بالایی در روده هضم می شود. چرا که اثبات شده است که اسیدهای آمینه آبگریز حساسیت بیشتری به پروتئازهای روده از جمله تریپسین، کیموتریپسین و کربوکسی پپتیداز دارند. بدین ترتیب قابلیت هضم روده ای پروتئین پرتوتابی شده افزایش می‌یابد. مزید بر این پرتوهای یون ساز توانایی بسیار بالایی در از بین بردن عناصر ضدتغذیه‌ای دارند (در دزهای پایین هم بخش قابل توجهی از مواد ضد تغذیه‌ای از بین می‌رود) که با از بین رفتن مواد ضد تغذیه‌ای (از جله گوسیپول موجود در کنجاله پنبه دانه) قابلیت هضم روده‌ای پروتئیین بالا می‌رود (Ghanbari و همکاران، ۲۰۱۲). در مقابل، کاهش گوارش پذیری می‌تواند به-دلیل تشکیل اتصالات عرضی و باندهای دای سولفیدی باشد که سبب کاهش نرخ تجزیه پذیری می‌شود (Tahan و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، اثر پرتوهای یون‌ساز بر گوارش پذیری مواد غذایی تحت تاثیر دز پرتوتابی، ساختار شیمیایی، میزان دیواره سلولی و مواد ضد تغذیه‌ای ماده خوراکی است (Jackson و همکاران ۱۹۹۵؛ NRC، ۲۰۰۱).

جدول ۵- مقایسه روش‌های مختلف عمل‌آوری بر گوارش پذیری برون‌تنی دانه سویا

	گوارش پذیری ماده خشک (درصد)	گوارش پذیری ماده آلی (درصد)	گوارش پذیری ماده آلی در ماده خشک (درصد)
عمل‌آوری نشده	۷۱/۶۲^{a}	۶۹/۹۲^{ab}	۶۶/۲۵^{ab}
پرتوتابی با گاما ۲۰	۶۹/۶۲^{c}	۶۸/۳۷^{bc}	۶۴/۵۷^{dc}
پرتوتابی با گاما ۴۰	۶۹/۵۰^{c}	۶۷/۷۷^{c}	۶۳/۸۷^{d}
پرتوتابی با الکترون ۲۰	۷۰/۸۷^{ab}	۶۹/۶۳^{ab}	۶۵/۶۲^{abc}
پرتوتابی با الکترون ۴۰	۷۱/۲۵^{ab}	۷۱/۰۲^{ab}	۶۶/۰۰^{ab}
پرتوتابی با مایکروویو ۳ دقیقه	۷۱/۲۵^{ab}	۶۹/۵۴^{ab}	۶۵/۰۰^{abc}
پرتوتابی با مایکروویو ۵ دقیقه	۷۰/۲۵^{bc}	۶۹/۱۰^{abc}	۶۵/۱۲^{bc}
تف دادن ۱۵ دقیقه	۷۱/۳۷^{ab}	۷۰/۵۷^{a}	۶۵/۵۵^{a}
تف دادن ۳۰ دقیقه	۶۷/۳۷^{d}	۷۰/۰۰^{ab}	۶۶/۵۰^{a}
خطای استاندارد	۰/۳۵	۰/۴۷	۰/۳۶
سطح معنی‌داری	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۰۶
مقایسه گروهی	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روش‌های مختلف عمل‌آوری باعث کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا در شکمبه شدند. پرتوتابی گاما و الکترون سبب کاهش بخش سریع تجزیه و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام و همچنین افزایش در بخش کند تجزیه ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شد. با توجه به اینکه پرتوهای الکترون و مایکروویو بر گوارش پذیری دانه سویا اثر منفی نداشتند و سبب بهبود فراسنجه های تجزیه پذیری ماده خشک و پروتئین خام دانه سویا شدند، از این روش‌های عمل‌آوری می‌توان برای بهبود ارزش غذایی دانه سویا جهت استفاده در جیره نشخوارکنندگان استفاده کرد. همچنین پیشنهاد می‌شود تأثیر مصرف دانه عمل‌آوری شده با پرتو الکترون و مایکروویو بر عملکرد تولیدی نشخوارکنندگان مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

اصلانیان، الف. قنبری، ف. بیات کوهسار، ج. و کریمی شهرکی، ب. (۱۳۹۴). اثرات عمل‌آوری با پرتو گاما، هیدروکسید سدیم، و اکسید کلسیم بر فراسنجه‌های تولید گاز و گوارش‌پذیری کاه سویا. مجله تولیدات دامی دانشگاه تهران. ۲: ۲۳۵-۲۴۸.

بابایی، م. قنبری، ف. قره‌باش، آ. م. و بیات کوهسار، ج. (۱۳۹۵). اثرات عمل‌آوری با پرتو الکترون، پراکسید هیدروژن و اسید هیدروبرومیک بر ارزش تغذیه‌ای بقایای ماش. نشریه پژوهش-های علوم دامی ایران. ۳: ۴۴۱-۴۵۴.

پیر عدل، ا. میر محمدی، ر. خلیل وندی بهروزیار، ح. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات شیمیایی، روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و هضم روده‌ای نشاسته و پروتئین خام واریته‌های مختلف دانه جو پرتوتابی شده با میکروویو. نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان. ۵ (۴): ۱۴۴-۱۱۹.

شیخعلی پور، ا. حسینخانی، ع. تقی زاده، ا. محمدزاده، م. (۱۳۹۷). اثر روش‌های مختلف فرآوری حرارتی بر ارزش تغذیه‌ای دانه ماشک برای نشخوارکنندگان. علوم دامی ایران ۴۹ (۳) ص ص. ۴۲۷-۴۳۶.

قربانی، ب. قورچی، ت. شورنگ، پ. زره داران، س. (۱۳۹۶). بررسی روند تجزیه پذیری دانه جو و سویای پرتوتابی شده با سطوح مختلف پرتو گاما و اثر انها در عملکرد پرواری بره ها. پژوهشهای تولیدات دامی. شماره ۱۵، ص ص.۶۷-۵۸.

قنبری، ف. قورجی، ت. شورنگ، پ. منصوری، ه. تربتی نژاد، ن. (۱۳۹۳). تاثیر پرتوتابی بر ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام و گوارش پذیری برون تنی کنجاله کانولا. نشریه علوم دامی (پژوهش و سازندگی). ۲۶: ۶۶-۵۵.

مجد، ف. و م.ر. اردکانی. ۱۳۸۲. تکنیک های هسته ای در علوم کشاورزی. انتشارات دانشگاه تهران.

Akbarian, A., Ghorbani, G., Khorvash, M., Showrang, P., Dehghan-Banadaky, M. and Jafari, M.(2010). Production response of Holstein lactating cows to roasted or electron beam irradiate whole soybean. *Joint Annual Meeting*. 11-15.

Al-Masri, M. (1999). *In vitro* digestible energy of some agricultural residues, as influenced by gamma irradiation and sodium hydroxide. *Applied Radiation and Isotopes*. 50 (2): 295- 301.

Anwar MM, Ali SE and Nasr EH, 2015. Improving the nutritional value of canola seed by gamma irradiation. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. 8: 328-333.

AOAC. (2000). Official methods of analysis, 17th ed. Association of official analytical chemists MD, USA Association of Analytical Communities.

Awawdeh, M.S., Titgemeye, E.C., Drouillard, J.S., Beyer, R.S. and Shirley, J.E. (2007). Rumen degradability and lysine bioavailability of soybean meals and effects on performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 90: 4740–4753.

Busquet, M., Calsamiglia, S., Ferret, A. and Kamel, C. (2006). Plant extracts affect *in vitro* rumen microbial fermentation. *Journal of Dairy Science*. 89: 761-767.

Ciesla, K., Roos, Y. and Głuszewski, W. (2000). Denaturation processes in gamma irradiated proteins studied by differential scanning calorimetry. *Radiation Physics and Chemistry*. 58(3) 233- 243.

Dong, X., Wang, J. and Raghavan, V. (2021). Impact of microwave processing on the secondary structure, in-vitro protein digestibility and allergenicity of shrimp (Litopenaeus vannamei) proteins. *Food Chemistry*. 337:127811.

Ebrahimi, S.R., Nikkhah, A. Sadeghi, A.A. and Raisali, G. (2009). Chmical composition, secondry compounds, ruminal degradation and *in vitro* crude protein digestibility of gamma irradiated canola seed. *Animal Feed Science Technology*. 151:184-193.

Ebrahimi, S. R., Nikkhah, A. and Sadeghi, A. A. (2010). Change in nutritive value and digestion kinetics of Conola seed due to Microwave irradiation. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 23:347-354.

Farag, M.D.E.H. (1998). Effect of radiation and other processing methods on protein quality of sunflower meal. *Journal of Science Food Agriculture*. 79:1565-1570.

Fathi Nasri, M.H., France, J., Danesh Mesgaran, M. and Kebrea, E. (2008). Effect of heat processing on ruminal degradability and intestinal disappearance of nitrogen and amino acids in Iranian whole soybean. Journal of Livestock Science. 113: 43-51.

Fattah, A., Sadeghi, A.A., 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.

Fellows, P.J. (2000). Food Processing Technology: Principles and Practice, Third Edition. CRC press, Oxford, UK.

Ghanbari, F., Ghoorchi, T., Shawrang, P., Mansouri, H. and Torbati-Nejad, N.M. (2012). Comparison of electron beam and gamma ray irradiations effects on ruminal crude protein and amino acid degradation kinetics, and *in vitro* digestibility of cottonseed meal. Radiation Physics and Chemistry. 81: 672-678.

Ghanbari, F., Ghoorchi, T., Shawrang, P., Mansoori, H. and Torbatinejad, N.M. (2013). Comparing the effect of ionizing radiations of electron beam and gamma ray on ruminal degradation kinetics of soybean meal protein and amino acids. *Iranian Journal of Animal Science Research*. 5(4):1-9

Golshan. S., Pirmohammadi, R. and Khalilvandi-Behroozya, H. (2019). Microwave irradiation of whole soybeans in ruminant nutrition: Protein and carbohydrate metabolism *in vitro* and *in situ*.*Veterinary Research Forum*. 10(4): 343–350.

Habiba, R.A. (2002). Changes in anti-nutrients, protein solubility, digestibility, and HCl- extractability of ash and phosphorus in vegetable peas as affected by cooking methods. *Food Chemistry*. 77: 187-192.

Jacksonو F.S., Barryو T.N., Lascano, C. and Palmer, B. (1996). The extractable and bound condensed tannin content of leaves from tropical tree. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 71: 103-110.

Lacroixa, M., Lea, T.C., Ouattaraa, B., Yua, H., Letendrea, M., Sabatoc, S.F., Mateescub, M.A. and Patterson, G. (2002). Use of gamma irradiation to produce films from whey, casein and soya proteins: structure and functionals characteristics. Radiation Physics and Chemistry. 63: 827-832.

Lee, J.W., Kim, J., Yook, H., Kang, K., Lee, S., Hang, H. and Byun, M. (2001). Effects of gamma radiation on the allergenic and antigenic properties of milk proteins. *Journal of Food Protection*. 64(2): 276-272.

Lee, M., Lee, S. and Song, K. (2005). Effect of γ-irradiation on the physicochemical properties of soy protein isolate films. *Radiation Physics and Chemistry*.72(1): 35-40.

Licitra, G., Hernandez, T. and Van Soest, P. (1996). Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 57: 347-358.

McNiven, M.A., Prestlokken, E., Mydlan, LT. and Mitchell, A.W. (2002). Laboratory procedure to determine protein digestibility of heat-treated feedstuffs for dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 96: 1–13.

Mir, Z., G.K. MacLeod, J. Buchanan-Smith, D. Grieve and W. Grovum. (1984). Methods for protecting soybean and canola proteins from degradation in the rumen. *Canadian Journal of Animal Science*. 64: 853-865

National Research Council (NRC). (2001). Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 7th revised ed. National Academy of Science, Washington DC.

Nobar, R. S. (2011). Ruminal dry matter degradability of treated soybean meal as source of escape protein. *African Journal of Biotechnology*.41(10): 8078-8092.

Oliveira, M and Franca, A.S. (2002). Microwave heating of foodstuffs. *Journal of Food Engineering*, 53: 347-359.

Orskov, E.R. and McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*. 92: 499–503

Sadeghi, A.A., 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.

Shahbazi, H.R., Sadegh, A.A., Fazaeli, H., Raisali, G., Chamani, M. and Shawrang, P. (2008). Effects of electron beam irradiation on ruminal NDF and ADF degradation characteristics of barley straw. *Jornal of Animal Veterinary Advances*. 7(4): 464-468.

Shawrang, P., Nikkhah, A., Sadeghi, A.A., Zareh, A. and Raisali. (2006). Monitoring the fate of gamma irradiated canola meal proteins in the rumen. *Journal of Animal Science*. pp. 368.

Shawrang, P., Nikkhah, A., Zare-Shahneh, A., Sadegh, A.A., Raisal, G. and Moradi Shahrebabak, M. (2008). Effects of gamma irradiationon on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. *Radiation Physics and Chemistry*. 77: 918–922.

Shawrang, P., Jalilian, S., Fatahnia, F., Sadeghi, A.A. and Mehrabi, A.A. (2017). The effects of irradiation from gamma, electron beam, microwave and infrared sources on ruminal degradability and *in vitro* digestibility of soybean meal. Animal Science Reseach. 27(4): 217-230.

Shawrang, P., Nikkhah, A., Zare-Shahneh, A., Sadeghi, A. A., Raisali, G. and Moradi-Shahrbabak, M. M. (2007). Effects of gamma irradiation on protein degradation of soybean meal in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*. 134: 140-151.

Shishir, S.R., Brodie, G., Cullen, B., Kaur, R., Cho, K. and Cheng, L. (2020). Microwave heat treatment induced changes in forage hay digestibility and cell microstructure. *Applied Science*. 10: 1-11.

Siddhuraju, P., Makkar, H. and Becker, K. (2002). The effect of ionising radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. *Food Chemistry*. 78(2): 205-187.

Taghinejad-Roudbaneh, M., Kazemi-Bonechari, M., Salem, A. Z.M. and Kholif, A.E. (2016). Influence of roasting, gamma ray irradiation and microwave on ruminal dry matter and crude protein digestion of cottonseed. Italian *Journal of Animal Science*. 15(1) : 144-150.

Taghinejad, M., Nikkhah, A., Sadeghi, A., Raisali1 G. and Chamani, M. (2009). Effects of gamma irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and *In vitro* protein digestibility of full-fat soybean. Asian-Australian. *Journal of Animal Science*. 22: 534 –541.

Tahan, G., Nasri, M., Riasi, A., Behgar, M. and Farhang Far, H. (2012). Effect of electron beam irradiation on degradability parameters and ruminal digestibility and post-ruminal digestibility of dry matter and crude protein of some plant protein feedstuff. *Iranian Journal of Animal Science Research.* 3(4): 422-434.

Tamminga, S. 1992. Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*. 75: 345–357.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B. (1991). Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74:3583–3597.

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

Zarei M, Kafilzadeh F and Shawrang P, 2016. *In vitro* gas production and dry matter digestibility of irradiated pomegranate (Punica granatum) seeds. *Iranian Journal of Applied Animal Science*. 6(1): 25-34.

Zhao, J. and Verpoorte, R. (2007). Manipulating indole alkaloid production by Catharanthus roseus cell cultures in bioreactors: from biochemical processing to metabolic engineering. *Phytochemistry Reviews*. 6: 435-457.