نشریه پژوهش‌های علوم دامی/ جلد ۲۵ شماره ۲/ سال ۱۳۹۴

# اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان

**سادیه جلیلیان[۱]، فرشید فتاح‌نیا[۲]*، پروین شورنگ[۳] و حمید محمدزاده[۴]**

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۷

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام
[۲] استادیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام
[۳] استادیار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کاربرد پرتوها، کرج
[٤] استادیار گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز
*مسئول مکاتبه: E-mail: ffatahnia@yahoo.com

**چکیده**

**زمینه مطالعاتی**: از پرتوتابی می‌توان به عنوان یک روش جایگزین برای فرآوری دانه‌های روغنی در تغذیه نشخوارکنندگان استفاده کرد. **هدف**: این آزمایش به منظور مقایسه اثر برشته کردن و پرتوتابی گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز بر بخش‌های مختلف پروتئین و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان انجام شد. **روش کار**: کنجاله آفتابگردان با پرتوهای مختلف فرآوری شد. از ٤ رأس گوسفند نر بالغ مغانی با متوسط وزن زنده ۲ ± ٦١ کیلوگرم و دارای فیستولای شکمبه برای تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان با روش کیسه‌های نایلونی استفاده شد. قابلیت هضم روده‌ای و بخش‌های مختلف پروتئین به ترتیب با روش سه مرحله‌ای آنزیمی و سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل اندازه‌گیری شد. **نتایج**: برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بخش‌های A و $B_1$ پروتئین در کنجاله آفتابگردان را کاهش و بخش $B_2$ را افزایش دادند ($P<۰/۰۵$). بیشترین مقدار بخش $B_3$ و بخش C به ترتیب در کنجاله آفتابگردان پرتوتابی شده با مایکروویو و مادون قرمز مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). بیشترین و کمترین بخش سریع تجزیه (a) پروتئین به ترتیب در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کنجاله آفتابگردان پرتوتابی شده با مادون قرمز مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی مقدار بخش کند تجزیه (b)، ثابت نرخ تجزیه (c) و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله آفتابگردان را کاهش دادند ($P<۰/۰۵$). کمترین مقدار تجزیه‌پذیری موثر پروتئین در نرخ عبور ۲، ٥ و ٨ درصد در کنجاله آفتابگردان پرتوتابی شده با گاما مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان به وسیله برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی افزایش یافت ($P<۰/۰۵$). **نتیجه‌گیری نهایی**: پرتوتابی گاما و مادون قرمز در مقایسه با پرتوهای الکترون و مایکروویو اثر بهتری بر کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای و افزایش قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان داشتند.

**واژگان کلیدی**: بخش‌های پروتئین، پرتوتابی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، کنجاله آفتابگردان، قابلیت هضم روده‌ای

**مقدمه**

پروتئین در جیره نشخوارکنندگان برای نگهداری، رشد، تولید مثل، شیردهی و سنتز پروتئین شیر ضروری است. پروتئین خام جیره نشخوارکنندگان به دو بخش قابل تجزیه در شکمبه (RDP)[1] و غیر قابل تجزیه در شکمبه (RUP)[2] تقسیم می‌شود که هر کدام وظایف متفاوتی دارند. پروتئین قابل تجزیه در شکمبه ترکیبی از پپتیدها، اسیدهای آمینه آزاد و آمونیاک مورد نیاز برای رشد میکروب‌ها و تولید پروتئین میکروبی را تأمین می‌کند و پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه دومین منبع مهم اسیدهای آمینه قابل جذب در روده کوچک حیوان می‌باشد (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱). نشخوارکنندگان پر تولید به مقادیر کافی پروتئین در جیره برای رشد مطلوب میکروب‌های شکمبه، هضم الیاف در شکمبه و مقادیر کافی اسیدهای آمینه حیاتی قابل دسترس در روده کوچک برای احتیاجات شیردهی و متابولیکی نیاز دارند (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱، کانت و همکاران ۲۰۰۳). احتیاجات پروتئین گاوهای شیرده پر تولید به خصوص در اوایل دوره شیردهی و نشخوارکنندگان با سرعت رشد بالا فقط توسط پروتئین میکروبی تولید شده در شکمبه تأمین نمی‌شود، بلکه به پروتئین با کیفیت و غیر قابل تجزیه در شکمبه و قابل هضم در روده کوچک نیز نیاز دارند (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱). از طرفی برای تأمین پروتئین این حیوانات، افزایش RDP بیش از نیاز میکروارگانیسم‌های شکمبه باعث تجزیه پروتئین به نیتروژن آمونیاکی در شکمبه و تبدیل آن به اوره در کبد و دفع آن از طریق ادرار می‌شود (اولموس کولمنرو و برودریک ۲۰۰۶ و آواوده و همکاران ۲۰۰۷). از مهمترین منابع پروتئینی رایج در جیره نشخوارکنندگان می‌توان کنجاله سویا، پنبه دانه، کلزا و آفتابگردان را نام برد. کنجاله آفتابگردان چهارمین منبع پروتئین بعد از کنجاله‌های سویا، پنبه دانه و کلزا در جهان است (هسلی ۱۹۹٤) اما استفاده از آن در جیره نشخوارکنندگان پرتولید به دلیل تجزیه‌پذیری بالای پروتئین در شکمبه محدود می‌باشد (ورسگیهازی و فکت ۱۹۹۰). تخمیر شکمبه‌ای سریع اسیدهای آمینه با اتلاف نیتروژن آمونیاکی همراه است (باسکات و همکاران ۲۰۰٦). به طوری که ۷۵ تا ۸۵ درصد از نیتروژن مصرف شده به وسیله گاوهای شیرده از طریق مدفوع و ادرار دفع می‌شود (باسکات و همکاران ۲۰۰٦ و تامینگا ۱۹۹۲). به دلیل هزینه بالای مکمل‌های پروتئینی و کم بودن مقدار RUP در آن‌ها، از روش‌هایی مختلفی برای افزایش محتوی پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه در آنها استفاده می‌شود. عمل‌آوری ابزاری مفید برای دستکاری تجزیه‌پذیری منابع پروتئینی در شکمبه و تغییر جایگاه هضم آنها به منظور مطلوب کردن جیره‌های نشخوارکنندگان می‌باشد (فوربس و فرانس ۱۹۹۳). عمل‌آوری منابع پروتئینی به منظور تغییر مکان هضم پروتئین از شکمبه به روده کوچک، از طریق تغییر ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی پروتئین‌ها مانند واسرشت کردن آن‌ها انجام‌پذیر است (نوسک و تامینگا ۱۹۹۱). از قدیمی‌ترین و متداول‌ترین روش‌های عمل‌آوری می‌توان استفاده از حرارت، مواد شیمیایی و یا ترکیبی از آنها را نام برد (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱). پرتوتابی روشی فیزیکی جدید شامل استفاده کنترل شده از انرژی پرتوهای مختلف مانند گاما، الکترون، مایکروویو و مادون قرمز برای عمل‌آوری منابع پروتئینی است (المسری و زرکاوی ۱۹۹٤). مطالعات زیادی به منظور بررسی اثر پرتوهای مختلف بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای منابع مختلف پروتئینی انجام شده است (ابراهیمی و تقی نژاد ۲۰۱۱، ابراهیمی و همکاران ۲۰۱۰، صادقی و همکاران ۲۰۰۵، صادقی و شورنگ ۲۰۰٦، شورنگ و همکاران ۲۰۰۸، شورنگ و همکاران ۲۰۰۷، طهان و همکاران ۱۳۹۰ و قنبری و همکاران ۱۳۹۲). در تمام این پژوهش‌ها، پرتوتابی سبب کاهش تجزیه

1- Rumen Degradabe Protein
2 - Rumen Undegradabe Protein

پروتئین در شکمبه و بهبود هضم آن در روده کوچک شده است. با توجه به این که ساز و کار و میزان اثرگذاری هر کدام از پرتوهای مورد استفاده بر ویژگی‌های پروتئین‌های خوراک با هم متفاوت است (المسری و زرکاوی ۱۹۹٤)، لذا مقایسه این پرتوها به منظور یافتن مناسب‌ترین روش عمل‌آوری ضروری به نظر می‌رسد. بسیاری از روش‌ها سبب مقاومت پروتئین خوراک به هضم در روده کوچک شده‌اند (برودریک و همکاران ۱۹۹۱). آگاهی از مؤثر بودن عمل‌آوری‌ها به آگاهی از تعیین پتانسیل هضم پروتئین در هر یک از قسمت‌های مختلف دستگاه گوارش بستگی دارد. روش‌های مختلفی برای ارزیابی مؤثر بودن عمل‌آوری بر ویژگی‌های پروتئین خوراک‌ها وجود دارد که هر کدام دارای معایب و مزایایی هستند. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های آزمایشگاهی مانند روش آنزیمی، روش کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل، روش‌های درون‌تنی و روش کیسه‌های نایلونی اشاره کرد. روش‌های آزمایشگاهی و کیسه‌های نایلونی به دلیل هزینه کم و همبستگی زیاد داده‌های این روش‌ها با روش‌های درون‌تنی، به طور وسیعی استفاده می‌شوند (استرن و همکاران ۱۹۹۷). با توجه به این که در هیچ آزمایشی به طور همزمان اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر ویژگی‌های پروتئین خام کنجاله آفتابگردان بررسی نشده است هدف این مطالعه بررسی مقایسه اثر برشته کردن و پرتوتابی گاما، مایکروویو، الکترون و مادون قرمز بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان با روش کیسه‌های نایلونی، بخش‌های مختلف پروتئین خام با سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل و قابلیت هضم روده‌ای با روش سه مرحله‌ای آنزیمی بود.

## مواد و روش‌ها

### تیمارهای آزمایشی و عمل‌آوری نمونه‌ها

تیمارهای آزمایشی عبارت بودند از: تیمار۱: کنجاله آفتابگردان عمل آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله آفتابگردان برشته شده، تیمار ۳: کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز. کنجاله آفتابگردان از یک شرکت تولید خوراک دام تهیه و به آزمایشگاه منتقل شد. از برشته کردن (عمل‌آوری حرارتی) به عنوان کنترل مثبت استفاده شد و برای این منظور مقداری از نمونه درون یک ظرف آلومینیومی ریخته و به مدت ۳۰ دقیقه در آون با دمای ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده شد. قبل از پرتوتابی، رطوبت نمونه‌ها با افزودن آب به به ۲۵ درصد رسانده شد. پرتوتابی گاما در دمای اتاق و با دز ۵۰ کیلوگری و نرخ متوسط ۰/۳٦ گری در ثانیه با استفاده از سیستم پرتوتابی آزمایشگاهی مدل PX-30، پرتوتابی مایکروویو با استفاده از آون مایکروفر بوتان با قدرت ۸۰۰ وات و به مدت ٤ دقیقه و پرتوتابی مادون قرمز با استفاده از دستگاه دارای لامپ مادون قرمز با قدرت ۱۰۰۰ وات و به مدت ۳۰ ثانیه در پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. پرتوتابی الکترون با دز ۵۰ کیلوگری در مرکز پرتو فرآیند یزد با استفاده از شتاب‌دهنده الکترون مدل TT200 با انرژی ثابت ۱۰ مگا الکترون‌ولت و جریان باریکه الکترونی ٦ میلی‌آمپر و با خطای حداکثر ۱۰ درصد انجام شد.

### تجزیه شیمیایی، بخش‌های مختلف پروتئین و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام

نمونه‌های کنجاله آفتابگردان مربوط به همه تیمارها با آسیاب دارای توری ۲ میلی‌متری آسیاب شدند. برای هر نمونه ۲ تکرار در نظر گرفته شد و ماده خشک، عصاره اتری، پروتئین خام و خاکسترآنها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد (AOAC ۲۰۰۰). برای تعیین بخش‌های مختلف پروتئین برای هر نمونه ٤ تکرار در نظر گرفته شد و بخش‌های A، $B_1$، $B_2$، $B_3$ و C با روش

لیسیترا و همکاران (۱۹۹٦) اندازه‌گیری شد. قابلیت هضم روده‌ای پروتئین نمونه‌ها با روش آنزیمی مک‌نیون و همکاران (۲۰۰۲) اندازه‌گیری شد.

**تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام با روش کیسه‌های نایلونی**

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام نمونه‌ها با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی انجام شد (سوبو و همکاران ۱۹۹٦). برای انجام این آزمایش از ٤ رأس گوسفند نر بالغ مغانی با متوسط وزن زنده ۲ ± ٦۱ کیلوگرم و دارای فیستولای شکمبه استفاده شد. حیوانات در جایگاه‌های انفرادی با ابعاد ۲×۱ 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، ٤٦/۷، ۱۱/۳، ۱۵، ۱، ۰/۵ و ۰/۵ درصد دانه ذرت، دانه جو،کنجاله تخم پنبه، کنجاله سویا، کربنات کلسیم و مکمل مواد معدنی و ویتامینی) به شکل جیره کاملاً مخلوط و در ساعت ۸ صبح و ٤ عصر تغذیه شدند. چهار کیسه نایلونی (قطر منافذ ٤۸ میکرومتر با ابعاد ۱۵×۱۰ سانتی‌متر) برای هر نمونه در هر زمان انکوباسیون در نظر گرفته شد و مقدار ۵ گرم ماده خشک از نمونه‌های آفتابگردان آسیاب شده در داخل آنها ریخته شد. سپس برای زمان‌های ۲، ٤، ۸، ۱٦و ۲٤ ساعت در داخل شکمبه (یک کیسه در داخل شکمبه هر گوسفند) قرار گرفتند. پس از پایان زمان‌های مورد نظر، کیسه‌ها از درون شکمبه خارج و بلافاصله با جریان آب سرد شسته شدند. ٤ 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 ٤۸ ساعت خشک شدن در آون با دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد، وزن شده و مقدار ماده خشک ناپدید شده در شکمبه تعیین شد. به منظور محاسبه تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام، مقدار پروتئین باقیمانده نمونه‌های درون کیسه‌ها نیز اندازه‌گیری شد. میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام در زمان‌های مختلف و تجزیه‌پذیری مؤثر آن در نرخ‌های مختلف عبور ذرات از شکمبه (۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت)، ضرایب تجزیه‌پذیری شاملa (بخش سریع تجزیه)، b (بخش کند تجزیه) و c (ثابت نرخ تجزیه) با استفاده از نرم‌افزار Neway و رابطه‌های زیر محاسبه شد (ارسکوف و مک‌دونالد ۱۹۷۹).

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

$$ED = a + [(b\times c) / (c+k_p)]$$

P= پتانسیل تجزیه‌پذیری یا ناپدید شدن در زمان t، ED= درصد تجزیه‌پذیری موثر، 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 مربوط به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام نمونه‌ها با روش کیسه‌های نایلونی در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی و داده‌های مربوط به قابلیت هضم روده‌ای پروتئین و بخش‌های مختلف پروتئین نمونه‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (۲۰۰۰) تجزیه واریانس شدند ($P<۰/۰۵$).

## نتایج و بحث

**ترکیب شیمیایی**

اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر ترکیب شیمیایی کنجاله آفتابگردان در جدول ۱ نشان داده شده است. ترکیب شیمیایی نمونه‌های عمل‌آوری شده تقریباً مشابه کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده بود. در آزمایش دای‌الدین و فاراگ (۱۹۹۹) نیز عمل-آوری کنجاله آفتابگردان با پرتو گاما اثری بر غلظت پروتئین خام آن نداشت.

**بخش‌های مختلف پروتئین**

اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله آفتابگردان در جدول۲ نشان داده شده است. بیشترین مقدار بخش A پروتئین

در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین مقدار آن در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری شده با الکترون، مایکروویو و مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵). برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی مقدار بخش $B_1$ کنجاله آفتابگردان را در مقایسه با کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده افزایش دادند (P<۰/۰۵). اما بین مقدار آن در کنجاله‌های پرتوتابی شده با پرتوهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین مقدار بخش $B_2$ پروتئین خام در کنجاله آفتابگردان برشته و پرتوتابی شده با الکترون و کمترین مقدار آن در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده مشاهده شد (P<۰/۰۵). کمترین مقدار بخش $B_3$ به ترتیب در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کنجاله پرتوتابی شده با مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار بخش C در کنجاله پرتوتابی شده با مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵). با توجه به مقایسه‌های گروهی، برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی مقدار بخش‌های A و $B_1$ را به طور معنی‌داری کاهش و مقدار بخش $B_2$ را افزایش دادند (P<۰/۰۵) اما بر بخش‌های $B_3$ وC اثر معنی‌داری نداشتند. همچنین، روش‌های مختلف پرتوتابی در مقایسه با برشته کردن مقدار بخش‌های A و $B_2$ را کاهش و مقدار بخش $B_1$ را به طور معنی‌داری افزایش دادند (P<۰/۰۵). اما تفاوتی بین بخش‌های $B_3$ وC در کنجاله آفتابگردان برشته شده و کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری شده با انواع پرتو مشاهده نشد. در آزمایش دای الدین و فاراگ (۱۹۹۹) قابلیت حل شدن پروتئین کنجاله آفتابگردان به وسیله حرارت و پرتو گاما کاهش یافت. بخش عمده پروتئین‌های دانه آفتابگردان از گلبولین‌ها و آلبومین‌ها تشکیل شده است (اسنایدر و وون ۱۹۸۷) که حساسیت بالایی به حرارت دارند. نیتروژن غیرپروتئینی (بخش A) قسمتی از پروتئین خام خوراک است که به سرعت (زمان صفر) در مایع شکمبه حل می‌شود و فرض می‌شود که سرعت تجزیه (kd) آن نامحدود است. بخش A از نظر شیمیایی، قسمتی از پروتئین خام است که در بافر بورات فسفات حل می‌شود (لیسیترا و همکاران ۱۹۹۶). سرعت تجزیه این بخش در شکمبه سریع می‌باشد و به طور مستقیم وارد مخزن آمونیاکی شکمبه می‌شود (لانزاس و همکاران ۲۰۰۷). بخش $B_1$ درصدی از کل پروتئین خام است که در بافر بورات فسفات حل شده و با اسید تری کلرو استیک رسوب می‌کند ونرخ تجزیه آن در شکمبه سریع می‌باشد. سرعت تجزیه این بخش در شکمبه حدود ۳۰۰-۲۰۰ درصد در ساعت است و مقدار تجزیه آن در روده ۱۰۰ درصد است. بخش $B_2$ پروتئینی است که بخشی از آن در شکمبه تجزیه می‌شود و به صورت اختلاف مجموع بخش‌های A، $B_1$، $B_3$ و C از پروتئین خام محاسبه می‌شود. سرنوشت این بخش به سرعت تجزیه و سرعت عبور از شکمبه بستگی دارد. قابلیت هضم شکمبه‌ای اسیدهای آمینه بخش‌های $B_1$ و $B_2$ ، ۱۰۰ درصد و برای بخش $B_3$، ۸۰ درصد است. بخش $B_2$ شامل آلبومین‌ها و گلوتلین‌ها است و سرعت تجزیه آن در شکمبه ۱۵-۵ درصد در ساعت است و ۱۰۰ درصد در روده هضم می‌شود.

**جدول ۱- اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر ترکیب شیمیایی (درصد از ماده خشک) کنجاله آفتابگردان**

| ترکیب شیمیایی | تیمار[۱] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ |
| پروتئین خام | ۳۲/۵۹±۰/۲۵ | ۳۲/٦۷±۰/۳۲ | ۳۲/۷۸±۰/٤٤ | ۳۲/۷۳±۰/٤۸ | ۳۲/۸٦ ±۰/۳۷ | ۳۲/۵٦ ±۰/۳۷ |
| عصاره اتری | ٦/۳٤±۰/۰۵ | ٦/۱۵±۰/۰۷ | ٦/۷۵±۰/۰۹ | ٦/۵۷±۰/۰۳ | ٦/۳۰±۰/۰٤ | ٦/٤٤±۰/۰۳ |
| خاکستر | ٦/۲۰±۰/۰۸ | ٦/۵۰±۰/۰٦ | ٦/۸۰±۰/۱۱ | ٦/٤۰±۰/۰٦ | ٦/٦۰±۰/۱۰ | ٦/۲۰±۰/۰۵ |

۱- تیمار ۱: کنجاله عمل‌آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله برشته شده، تیمار ۳: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز.

**جدول ۲- اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله آفتابگردان (درصد از پروتئین خام)**

| بخش پروتئین | تیمار[۱] | | | | | | SEM[۲] | P-value | مقایسه گروهی[۳] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | | | ۱ | ۲ |
| A | ۱۰/۹۲$^{a}$ | ۹/٦۰$^{b}$ | ۹/٤٤$^{b}$ | ۸/۹٦$^{c}$ | ۹/۰۹$^{c}$ | ۸/۹۸$^{c}$ | ۰/۰۹ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| $B_1$ | ٥۷/٤٥$^{a}$ | ٤۳/٦٤$^{b}$ | ٤٥/۷۳$^{b}$ | ٤۲/٦٤$^{b}$ | ٤٥/۳٤$^{b}$ | ٤٦/۲٥$^{b}$ | ۱/٤٥ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| $B_2$ | ۲۲/٥۰$^{c}$ | ۳٦/۷۱$^{a}$ | ۳٤/٤۱$^{ab}$ | ۳۷/٤۰$^{a}$ | ۳۱/۸٤$^{b}$ | ۳٥/۳۰$^{ab}$ | ۱/۳۳ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| $B_3$ | ۷/۳٤$^{b}$ | ۹/۳۳$^{ab}$ | ۹/٥٥$^{ab}$ | ۸/٤۹$^{ab}$ | ۱۱/۸۳$^{a}$ | ٦/۱۷$^{b}$ | ۱/۲٥ | ۰/۰٤ | ۰/۲۳ | ۰/۱۰ |
| C | ۲/۳۲$^{ab}$ | ۰/۷۳$^{b}$ | ۰/۸٦$^{b}$ | ۲/٥۱$^{ab}$ | ۱/۹۱$^{ab}$ | ۳/۳۲$^{a}$ | ۰/٦٦ | ۰/۰٤ | ۰/٥٤ | ۰/۲۹ |

۱- تیمار ۱: کنجاله عمل‌آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله برشته شده، تیمار ۳: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز.

۲- اشتباه معیار کل میانگین‌ها.

۳- مقایسه گروهی ۱: مقایسه تیمار ۱ با تیمارهای ۲، ۳، ٤، ٥ و ٦، مقایسه گروهی ۲: مقایسه تیمار ۲ با تیمارهای ۳، ٤، ٥ و ٦.

$^{a,b,c}$: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ٥ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

بخش $B_3$ پروتئین شامل پرولامین‌ها و پروتئین‌های واسرشت شده است که در اکثر مواد خوراکی به ویژه پروتئین‌های گیاهی به مقدار بسیار کم وجود دارند. بخش C پروتئین غیر قابل حل در شوینده اسیدی است که در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل غیر قابل تجزیه در شکمبه فرض می‌شود و رابطه مستقیمی با صدمه حرارتی پروتئین و پروتئین غیر قابل هضم دارد (اسنیفن و همکاران ۱۹۹۲). کاهش مقدار بخش‌های A و $B_1$ در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری شده را احتمالاً می‌توان به تغییر شکل پپتیدها و پروتئین‌ها، کاهش قابلیت حل شدن و در نتیجه رسوب آن‌ها ارتباط داد (ون سوست ۱۹۹٤). افزایش بخش $B_2$ پروتئین خام کنجاله‌های پرتوتابی شده را می‌توان به افزایش آب‌گریزی سطح مولکول پروتئین به دلیل جدا شدن پیوندهای هیدروژنی و سایر پیوندهای ضعیف غیرکوالانسی و تغییر موقعیت اسیدهای آمینه ارتباط داد (ون سوست ۱۹۹٤). در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل فرض بر این است که بخش C پروتئین در شکمبه تجزیه نمی‌شود. این بخش با صدمه حرارتی رابطه مستقیمی دارد (مجون و همکاران ۲۰۱۰). لذا درجه حرارت مناسب و کنترل شده طی فرآیندهای حرارتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در آزمایش حاضر کاهش بخش C در برخی از کنجاله‌های عمل‌آوری شده را احتمالاً می‌توان به افزایش تجزیه دیواره سلولی و آزاد شدن پروتئین متصل به آن ارتباط داد. درآزمایشی، پرتوتابی کاه گندم و جو با الکترون با دزهای ۱۰۰، ۲۰۰ و۳۰۰ کیلوگری سبب افزایش تجزیه‌پذیری ADF و NDF در شکمبه شد. افزایش تجزیه‌پذیری دیواره سلولی سبب آزاد شدن پروتئین‌های متصل به دیواره سلولی و کاهش بخش C پروتئین می‌شود (شهبازی و همکاران ۲۰۰۸$_{a,b}$). در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل، کاهش بخش‌های A و $B_1$ و افزایش بخش‌های $B_2$ و $B_3$ پروتئین با کاهش میزان تجزیه شدن پروتئین در شکمبه و افزایش RUP همراه است (لانزاس و همکاران ۲۰۰۷) که در صورت عدم اثر منفی بر تجزیه شدن RUP در روده می‌تواند بر عملکرد تولیدی و تولید مثلی گاوهای شیرده اثر مثبت داشته باشد (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱).

**تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام با روش کیسه-های نایلونی**

اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان در زمان‌های مختلف انکوباسیون در جدول ۳ نشان داده شده است. اثر روش‌های مختلف عمل آوری بر تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله آفتابگردان در همه زمان‌های انکوباسیون معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). در زمان‌های صفر، ۲ و ٤ ساعت پس از انکوباسیون، بیشترین و کمترین میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام به ترتیب در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کنجاله عمل‌آوری شده با مادون قرمز دیده شد (P<۰/۰۵). در ساعات ۸ و ١٦ انکوباسیون، بیشترین میزان تجزیه‌پذیری پروتئین خام کنجاله آفتابگردان در تیمار شاهد و کمترین تجزیه-پذیری در کنجاله‌های عمل‌آوری شده با پرتو گاما، الکترون و مادون قرمز دیده شد (P<۰/۰۵). در ٢٤ ساعت انکوباسیون، بیشترین تجزیه‌پذیری پروتئین خام در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین آن در کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما دیده شد (P<۰/۰۵). با توجه به مقایسه‌های گروهی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان برشته شده و کنجاله-های پرتوتابی شده در مقایسه با کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کنجاله‌های آفتابگردان پرتوتابی شده در مقایسه با کنجاله آفتابگردان برشته شده کمتر بود (P<۰/۰۵). اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر پارامترهای تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله آفتابگردان در جدول ٤ نشان داده شده است. اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر بخش سریع تجزیه (a)، بخش کند تجزیه (b) و ثابت نرخ تجزیه بخش b (c) معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). بیشترین مقدار بخش سریع تجزیه (a) در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین مقدار آن در کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵).

**جدول ۳- اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان (درصد)**

| زمان انکوباسیون | تیمار[1] | | | | | | SEM[2] | P-value | مقایسه گروهی[3] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (ساعت) | ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | | | ۱ | ۲ |
| ۰ | ۳۱/٦۳[a] | ۲۷/٤٥[b] | ۲٦/٦۰[b] | ۲۳/۱۳[d] | ۲٥/۰٦[c] | ۲۱/٦۲[e] | ۰/۳٤ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ۲ | ۳٦/۹۰[a] | ۳۲/۲۸[b] | ۲۸/۱۷[c] | ۲٥/۷۹[d] | ۲۸/۰٦[c] | ۲۳/٤٦[e] | ۰/٦٤ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ٤ | ٤۱/٥٥[a] | ۳۳/٦۹[b] | ۲۸/۸۰[c] | ۲۷/۰۲[d] | ۲۹/۷۲[c] | ۲٥/۱۹[e] | ۰/٤۷ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ۸ | ٤۳/۲۳[a] | ۳٦/٤٥[b] | ۲۹/۹٤[d] | ۲۹/٤۹[d] | ۳۲/۸٤[c] | ۲۸/٥۳[d] | ۰/۷۷ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ١٦ | ٤۷/۷۸[a] | ٤۱/٤٥[b] | ۳۲/۱۸[c] | ۳٤/۰۹[c] | ۳۸/٥٥[b] | ۳٤/٥۷[c] | ۱/۱۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ٢٤ | ٥۲/۷٥[a] | ٤٦/۱۲[b] | ۳٤/٤٦[d] | ۳۸/۳٦[c] | ٤۳/۸۰[b] | ۳۹/۹٦[c] | ۰/۸٦ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |

۱- تیمار ۱: کنجاله عمل‌آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله برشته شده، تیمار ۳: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز.

۲- اشتباه معیار کل میانگین‌ها.

۳- مقایسه گروهی ۱: مقایسه تیمار ۱ با تیمارهای ۲، ۳، ٤، ٥ و ٦، مقایسه گروهی ۲: مقایسه تیمار ۲ با تیمارهای ۳، ٤، ٥ و ٦.

[a,b,c, d]: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ٥ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

مقدار بخش کند تجزیه (b) در کنجاله آفتابگردان عمل-آوری نشده از کنجاله‌های آفتابگردان عمل‌آوری شده کمتر بود (P<۰/۰۵) اما بین مقدار آن در کنجاله‌های آفتابگردان عمل‌آوری شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین مقدار ثابت نرخ تجزیه بخش b (c) در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین مقدار آن

در کنجاله های عمل‌آوری شده با پرتو گاما، الکترون و مایکروویو مشاهده شد (P<۰/۰۵). اثر روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله آفتابگردان معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). بیشترین تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام در نرخ عبور ۰/۰۲ و ۰/۰۵ در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین آن در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری شده با پرتو گاما مشاهده شد (P<۰/۰۵).

**جدول ۴- اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام کنجاله آفتابگردان**

| فراسنجه | تیمار[۱] ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | SEM[۲] | P-value | مقایسه گروهی[۳] ۱ | ۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامترهای تجزیه‌پذیری[٤] | | | | | | | | | | |
| a | ۳٦/۱۰$^{a}$ | ۳۰/۹٤$^{b}$ | ۲۷/٥٦$^{b}$ | ۲٤/٥۱$^{d}$ | ۲٦/۰۹$^{c}$ | ۲۱/٦۷$^{e}$ | ۰/۳٦ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| b | ۳٤/۳۲$^{b}$ | ٥۸/٦۰$^{a}$ | ٦۰/۸۳$^{a}$ | ٦۷/۳۰$^{a}$ | ٦۳/٦٦$^{a}$ | ٦۲/٤۷$^{a}$ | ٤/٥۸ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| c | ۰/۰۳۳$^{a}$ | ۰/۰۱۳$^{b}$ | ۰/۰۰٤$^{b}$ | ۰/۰۱۰$^{b}$ | ۰/۰۱۳$^{b}$ | ۰/۰۱٥$^{ab}$ | ۰/۰۰٦ | ۰/۰۳ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| تجزیه‌پذیری موثر (درصد) | | | | | | | | | | |
| ۰/۰۲ | ٥٥/٤۳$^{a}$ | ٥۳/٤٤$^{ab}$ | ۳۹/۷٦$^{d}$ | ٤٦/۲۷$^{c}$ | ٥۱/۷۹$^{b}$ | ٤۷/۷۷$^{c}$ | ۰/٦۷ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ۰/۰٥ | ٤۸/۱٤$^{a}$ | ٤۲/٥۹$^{b}$ | ۳۳/۱۰$^{e}$ | ۳٥/۲۹$^{ed}$ | ۳۹/۷۷$^{c}$ | ۳٥/٦۳$^{d}$ | ۰/٦۸ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| ۰/۰۸ | ٤٥/۹۷$^{a}$ | ۳۸/۸۰$^{b}$ | ۳۱/۱۳$^{c}$ | ۳۱/۷٤$^{c}$ | ۳٥/٤٦$^{b}$ | ۳۱/۲٤$^{c}$ | ۰/۷۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |

۱- تیمار ۱: کنجاله عمل‌آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله برشته شده، تیمار ۳: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز.

۲- اشتباه معیار کل میانگین‌ها.

۳- مقایسه گروهی ۱: مقایسه تیمار ۱ با تیمارهای ۲، ۳، ٤، ٥ و ٦، مقایسه گروهی ۲: مقایسه تیمار ۲ با تیمارهای ۳، ٤، ٥ و ٦.

٤- a: بخش سریع تجزیه (درصد)، b: بخش کند تجزیه (درصد) و c: ثابت نرخ تجزیه بخش b (درصد در ساعت)

$^{a,b,c,d}$: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ٥ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

بیشترین تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام در نرخ عبور ۰/۰۸ در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کمترین آن در کنجاله های عمل آوری شده با پرتو گاما، الکترون و مادون قرمز مشاهده شد (P<۰/۰۵). همچنین با توجه به مقایسه‌های گروهی، مقدار بخش سریع تجزیه (a) و بخش کند تجزیه (b) پروتئین خام در کنجاله آفتابگردان برشته شده و کنجاله‌های پرتوتابی شده در مقایسه با کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده به ترتیب کمتر و بیشتر بود (P<۰/۰۵). همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود برشته کردن و پرتوتابی مقدار بخش‌های A و $B_1$ (پروتئین قابل حل) پروتئین خام کنجاله آفتابگردان را به طور معنی‌داری کاهش و مقدار بخش‌های $B_2$ و $B_3$ را به طور معنی‌داری افزایش دادند، بنابراین می‌توان انتظار داشت که تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه را کاهش دهند. زیرا معمولاً با افزایش قابلیت حل شدن پروتئین درمایع شکمبه، تجزیه شدن آن نیز افزایش می‌یابد (مؤسسه تحقیقات ملی ۲۰۰۱). در آزمایش حاضر اثر روش‌های مختلف عمل آوری بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان معنی‌دار بوده اما بیشترین تأثیر در عمل-آوری با پرتو الکترون و مادون قرمز مشاهده شد. پرتو الکترون و مادون قرمز قابلیت حل شدن پروتئین‌ها را از طریق ایجاد پیوندهای عرضی در زنجیره‌های پروتئین و رسوب پروتئین‌ها کاهش می‌دهند. قابلیت حل شدن پروتئین‌ها به نوع اسیدهای آمینه آن‌ها بستگی دارد. اسیدهای آمینه آب‌گریز بسیاری در ساختمان پروتئین-

های کروی وجود دارند که در درون آن‌ها پنهان شده‌اند. پرتو مادون قرمز گروه‌های غیرقطبی اسیدهای آمینه را در سطح پروتئین قرار می‌دهد و قابلیت حل شدن پروتئین‌ها را کاهش می‌دهد. از طرفی واکنش‌های آبگریز با افزایش رسوب پروتئین‌ها سبب کاهش تجزیه پذیری آن‌ها می‌شود (مورای و همکاران ۲۰۰۳).

**تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام**

اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام کنجاله‌آفتابگردان در جدول ۵ نشان داده شده است. بیشترین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و روده‌ای پروتئین خام به ترتیب در کنجاله آفتابگردان عمل‌آوری نشده و کنجاله‌های عمل‌آوری شده مشاهده شد ($P<۰/۰۵$). با توجه به مقایسه‌های گروهی، برشته کردن در مقایسه با انواع پرتوتابی اثر بیشتری بر قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان داشت ($P<۰/۰۵$). مشابه با نتایج آزمایش حاضر، در آزمایش دای الدین و فاراگ (۱۹۹۹) عمل‌آوری کنجاله آفتابگردان با دزهای ۱۰ و ۲۰ کیلوگری قابلیت هضم روده‌ای پروتئین با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی را در مقایسه با کنجاله عمل‌آوری نشده افزایش داد. کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام با داده‌های مربوط به روش کیسه‌های نایلونی همخوانی داشت (جدول ٤). افزایش قابلیت هضم روده‌ای پروتئین کنجاله آفتابگردان برشته و عمل‌آوری شده با انواع پرتوتابی را می‌توان به ایجاد پیوندهای عرضی، 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 (مورای و همکاران ۲۰۰۳)، این روش‌های عمل‌آوری شرایط مناسبی برای فعالیت بیشتر تریپسین و کیموتریپسین در روده را فراهم می‌کنند.

**جدول ۵- اثر برشته کردن و روش‌های مختلف پرتوتابی بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام کنجاله آفتابگردان (درصد)**

| قابلیت هضم | تیمار[۱] ۱ | ۲ | ۳ | ٤ | ٥ | ٦ | SEM[۲] | P-value | مقایسه گروهی[۳] ۱ | ۲ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شکمبه‌ای | ۷٦/۰۰$^{a}$ | ٦٦/۲٥$^{b}$ | ٦٦/٥۰$^{b}$ | ٦٥/۰۰$^{b}$ | ٦٥/۰۰$^{b}$ | ٦۸/۰۰$^{b}$ | ۲/٥۰ | ۰/۰٤ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |
| روده‌ای | ۸٦/٥۰$^{b}$ | ۹٤/۷٥$^{a}$ | ۹۳/۷٥$^{a}$ | ۹۰/۷٥$^{a}$ | ۹۱/٥۰$^{a}$ | ۹۳/۲٥$^{a}$ | ۱/۳۰ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ | <۰/۰۱ |

۱- تیمار ۱: کنجاله عمل‌آوری نشده، تیمار ۲: کنجاله برشته شده، تیمار ۳: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو گاما، تیمار ٤: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو الکترون، تیمار ٥: کنجاله عمل‌آوری شده با مایکروویو و تیمار ٦: کنجاله عمل‌آوری شده با پرتو مادون قرمز.

۲- اشتباه معیار کل میانگین‌ها.

۳- مقایسه گروهی ۱: مقایسه تیمار ۱ با تیمارهای ۲، ۳، ٤، ٥ و ٦، مقایسه گروهی ۲: مقایسه تیمار ۲ با تیمارهای ۳، ٤، ٥ و ٦.

$^{a,b,c}$: در هر ردیف میانگین‌هایی که حرف مشابه دارند در سطح ٥ درصد با هم اختلاف آماری معنی‌دار ندارند.

**نتیجه‌گیری کلی**

نتایج این آزمایش نشان داد که پرتوتابی به طور مؤثری سبب تغییر در بخش‌های مختلف پروتئین کنجاله آفتابگردان شده و با کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه و افزایش قابلیت هضم روده‌ای پروتئین می‌تواند بازده استفاده از پروتئین خام را برای نشخوارکنندگان افزایش دهد. با توجه به این نتایج در بین پرتوهای استفاده شده در این آزمایش، پرتو گاما و مادون قرمز در مقایسه با الکترون و ماکروویو اثر بهتری بر کنجاله آفتابگردان داشتند. در این میان پرتو مادون قرمز به

علت بازده بالا و صرف زمان بسیار کم در انتقال حرارت (زیاد بودن بازده انرژی حرارتی) می تواند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد و از آن به عنوان روشی برای عمل‌آوری کنجاله آفتابگردان استفاده کرد.

**منابع مورد استفاده**


قنبری ف، قورچی ت، شورنگ پ ، منصوری ه و تربتی نژاد ن. ۱۳۹۲. مقایسه تاثیر پرتوهای یون ساز گاما و الکترون بر کینتیک تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین و اسیدهای آمینه کنجاله سویا. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. جلد پنجم، شماره ٤. صفحه‌های ٣٤٤ تا ٣٥٤ .

طهان ق، فتحی مح ، ریاسی ا ، بهگر م و فرهنگ‌فر ه. ۱۳۹۰. اثر پرتوتابی الکترونی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام برخی منابع پروتئینی گیاهی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی. جلد سوم، شماره ٤. صفحه-های ٤٢٢ تا ٤٣٤ .

Al-Masri MR and Zarkawi M, 1994. Effects of gamma irradiation on cell-wall consituents of some agricultural residuse. Radiat Phys Chem 44: 661-663.

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

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

Broderick GA, Wallace RJ and Ørskov ER, 1991. Control of rate and extent of protein degradation. In: Tsuda, T., Sasaki, Y and Kawashima R. (eds) Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants. Academic Press, London, pp. 541–592.

Busquet M, Calsamiglia S, Ferret A and Kamel C, 2006. Plant extracts affect in vitro rumen microbial fermentation. J Dairy Sci 89: 761-767.

Cant JL, Berthiaume R, Lapierre H, Luimes PH, McBride BW and Packeao D, 2003. Responses of the bovine mammary glands to absorptive supply of single amino acids. Can J Anim Sci 83: 341-355.

Diaa El-Din M and Farag H, 1999. Effect of radiation and other processing methods on protein quality of sunflower meal. J Sci Food Agric 79: 1565-1570.

Ebrahimi SR, Nikkhah A and Sadeghi AA, 2010. Changes in nutritive value and digestion kinetics of canola seed due to microwave irradiation. J Anim Sci 23: 347–354.

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. Radiat Phys Chem 80: 1441-1447.

Forbes JM and France J, 1993. Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. CAB International.

Hesley J, 1994. Sunflower meal use in livestock rations. National Sunflower Association, Bismarck, ND.

Lanzas CL, Tedeschi O, Seo S and Fox DG, 2007. Evaluation of protein fractionation systems used in formulating rations for dairy cattle. J Dairy Sci 90: 507-521.

Licitra C, Hernandez TN and Van Soest PJ, 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Anim Feed Sci Technol 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. Anim Feed Sci Technol 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. J Dairy Sci 93: 4144-4154.

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

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

Nocek JE and Tamminga S, 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. J Dairy Sci 74: 3598–3629.

Olmos Colmenero JJ and Broderick GA, 2006. Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows. J Dairy Sci 89: 1704-1712.

Ørskov E and McDonald I, 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J Agri Sci 92: 499-503.

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

Sadeghi AA and Shawrang P, 2006. Effects of microwave irradiation on ruminal degradability and in vitro digestibility of canola meal. Anim Feed Sci Technol 127: 45–54.

SAS. User's Guide: Statistics. 1999. Version 8. 2. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Shahbazi HR, Sadeghi AA, Fazaeli H, Raisali G, Chamani M and Shawrang P, 2008a. Effects of electron beam irradiation on dry matter degradation of wheat straw in the rumen. Pakistan J Biol Sci 11: 676-679.

Shahbazi HR, Sadeghi AA, Fazaeli H, Raisali G, Chamani M and Shawrang P, 2008b. Effects of electron beam irradiation on ruminal NDF and ADF degradation characteristics of barley straw. J Anim Vet Adv 7: 464-468.

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. Anim Feed Sci Technol 134: 140–151.

Shawrang P, Nikkhah A, Zare-Shahneh A, Sadeghi AA, Raisali G and Moradi Shahrebabak M, 2008. Effects of gamma irradiationon on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. Radiat Phys Chem 77: 918–922.

Sniffen CJ, O'Connor JD, Fox DG and Russell JB, 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. J Anim Sci 70: 3562-3577.

Snyder HE and Kwon TW, 1987. Soybean utilization. Van Nostrand Reinhold Company, NY.

Stern MD, Bach A and Calsamiglia S, 1997. Alternative techniques for measureing nutrient digestion in ruminants. J Anim Sci 75: 2256-2276.

Subuh AMH, Rowan TG and Lawrence TLJ, 1996. Effect of heat or formaldehyde treatment on the rumen degradability and the intestinal tract apparent digestibility of protein in soya-bean meal and in rapeseed meals of different glucosinolate content. Anim Feed Sci Technol 57: 139-152.

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

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

Veresegyházy T and Fekete S, 1990. The effect of tannin treatment and subsequent urea supplementation of sunflower meal on the in vitro digestibility of its crude protein for ruminants. Acta Vet Hung 38: 95–103.

# Effect of different irradiation methods on different protein fractions, ruminal degradability and intestinal digestibility of sunflower meal protein

**S Jalilian[1], F Fatahnia [2*], P Shawrang[3], S G R Mousavi[1] and H Mohammadzadeh[4]**

Received: December 29, 2013 Accepted: March 18, 2015

[1]Former MSc Student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

[3] Assistant Professor, Radiation Application Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Atomic Energy Organization of Iran, Karaj, Iran

Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

[*]Corresponding author: E-mail: ffatahnia@yahoo.com

## Abstract

**BACKGROUND:** Irradiation can be used as substitute method for oilseeds processing in ruminant nutrition. **OBJECTIVES:** This experiment was conducted to compare the effect of roasting and gamma, electron, microwave and infrared irradiation on different protein fractions, ruminal degradability and intestinal digestibility of sunflower meal protein. **METHODS:** Sunflower meal processed by different irradiations. Four ruminally fistulated Moghani rams with average body weight of 61±2 kg were used to measure ruminal degradability of crude protein using nylon bag technique. Intestinal digestibility and different protein fractions were measured using three-step enzymatic procedure and Cornell net carbohydrate and protein system, respectively. **RESULTS:** Roasting and different irradiation methods decreased protein A and $B_1$ fractions of sunflower meal and increased $B_2$ fraction ($P<0.05$). The highest value of $B_3$ and C fractions were observed in microwave and infrared irradiated sunflower meal ($P<0.05$). The highest and the lowest values of quickly degradable fraction ("a" fraction) of protein were observed in unprocessed and infrared irradiated sunflower meal, respectively ($P<0.05$). Roasting and different irradiation methods decreased slowly degradable fraction ("b" fraction), degradability rate ("c") and effective degradability of sunflower meal protein ($P<0.05$). The lowest effective degradability of protein at 0.02, 0.05 and 0.08/h passage rate was observed in gamma irradiated sunflower meal ($P<0.05$). Intestinal digestibility of sunflower meal protein increased by roasting and different irradiation methods ($P<0.05$). **CONCLUSIONS:** Gamma and infrared irradiation had better effect on reduction of ruminal degradability and increase of intestinal digestibility of sunflower meal protein compared to electron radiation and microwave.

**Keyword:** Sunflower meal; Irradiation; Ruminal degradability, Intestinal digestibility; Protein fraction