نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۰۴، پاییز ۱۳۹۳
ص‌ص: ۵۵~۶۶

# تاثیر پرتوتابی بر ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، و قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا

- **فرزاد قنبری** (نویسنده مسئول)
  استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس
- **تقی قورچی**
  استاد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
- **پروین شورنگ**
  استادیار، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای کرج
- **هرمز منصوری**
  استادیار ، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور
- **نورمحمد تربتی نژاد**
  استاد، گروه تغذیه دام و طیور، دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت : تیرماه ۹۲ تاریخ پذیرش : مهرماه ۹۲

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۱۹۹۵۲۲۸

Email: farzadghanbari@yahoo.com

**چکیده**

**این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون در دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، بر تجزیه شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، و قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا انجام گرفت. بدین منظور از تکنیک کیسه‌های نایلونی و روش هضم دو مرحله‌ای استفاده شد. پرتو گاما باعث کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک شد (P<۰/۰۵)، اما پرتو الکترون تاثیری بر این صفت نداشت (P>۰/۰۵). تجزیه شکمبه‌ای پروتئین خام به‌وسیله پرتوتابی کاهش یافت (P<۰/۰۵). در این خصوص تاثیر اشعه گاما بیشتر از تابش الکترون بود (P<۰/۰۵). قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا تحت تاثیر پرتوتابی افزایش یافت (P<۰/۰۵). با افزایش دز تابش پرتوهای الکترون و گاما، مقدار قابلیت هضم برون‌تنی ماده خشک، به‌طور خطی افزایش یافت (P<۰/۰۵). تاثیر تابش الکترون و اشعه گاما در افزایش این صفت یکسان بود (P>۰/۰۵). نتایج این پژوهش نشان داد که هرچند تاثیر پرتو گاما در کاهش تجزیه شکمبه ای ماده خشک و پروتئین خام کنجاله کانولا بیشتر از پرتو الکترون بود، اما قابلیت هضم برون تنی آن به طور یکسانی تحت تاثیر این پرتوهای یون‌ساز افزایش یافت.**

**واژه‌های کلیدی:** پرتوهای یون‌ساز، کنجاله کانولا، تجزیه شکمبه‌ای، قابلیت هضم برون تنی.

Animal Sciences Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 104 pp: 55-66

**Effect of irradiation on ruminal disappearance of dry matter and crude protein, and in vitro digestibility of canola meal.**

By: Farzad Ghanbari[1]*, Taghi Ghoorchi[2], Parvin Shawrang[3], Hormoz Mansouri[4], Nour. M Torbatinejad[2]
[1] Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Gonbad Kavous University,
∗Corresponding author. , farzadghanbari@yahoo.com,Tel.: +989131995228
[2] Department of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
[3] Nuclear Agriculture Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, Karaj.
[4] Animal Science Research Institute **Received: July 2013** **Accepted: October 2013**

This research was conducted to evaluate the effects of electron beam (EB) and gamma ray (GR) radiations at doses of 25, 50 and 75 kGy on ruminal degradation kinetics of dry matter (DM) and crude protein (CP), and *in vitro* digestibility of canola meal (CM). The nylon bag technique and *in vitro* two step method were used for this aim. GR decreased ruminal degradability of DM ($P<0.05$), but EB had no effect on this trait ($P>0.05$). The ruminal degradation of CP was reduced by irradiation ($P<0.05$). In this case the efficacy of GR was more than EB ($P<0.05$). *In vitro* digestibility of CM was increased by irradiation ($P<0.05$). With increasing dose of GR and EB, the value of *in vitro* DM digestibility increased linearly ($P<0.05$). The effects of EB and GR on increasing of this trait were the same ($P>0.05$) The results of this study showed greater effects of GR than the EB in reducing the ruminal degradation of DM and CP, while the *in vitro* digestibility of CM was equally affected by these ionizing radiations.

**Key words:** Ionizing radiation, Canola meal, Ruminal degradation, Digestibility

**مقدمه**

امروزه به‌منظور برآورده کردن نیازهای پروتئینی گاوهای شیری و گوساله‌های پرواری، استفاده از منابع پروتئینی با تجزیه‌پذیری پایین در شکمبه، ولی قابل هضم در روده کوچک امری ضروری است (۲۳). پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه باعث افزایش جریان نیتروژن و اسیدهای آمینه به روده کوچک می‌شود. این منتج به بهبود کارایی استفاده از نیتروژن می‌شود. از جمله فواید استفاده بیشتر از پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه می‌توان به افزایش تولید شیر، افزایش عملکرد تولید مثلی و کاهش آسیب به محیط زیست اشاره کرد (۳۳). سطوح بالاتر پروتئین قابل تجزیه منجر به تولید بیش از حد آمونیاک در شکمبه و افزایش سطح اوره خون می‌شود. افزایش آمونیاک شکمبه‌ای و اوره پلاسمایی باعث کاهش مصرف خوراک، افزایش روزهای باز و کاهش نرخ آبستنی در گاوهای شیری می‌شود. همچنین صرف هزینه برای مصرف متابولیکی نیتروژن تجزیه شده در شکمبه، منجر به تعادل منفی انرژی می‌شود (۲۴، ۱۷، ۶). به‌منظور کاهش تجزیه شکمبه-ای پروتئین از روش‌های مختلف عمل‌آوری استفاده می‌شود (۳۲). کنجاله کانولا یکی از منابع ارزشمند پروتئینی در جیره نشخوارکنندگان می‌باشد. اما با توجه به گستردگی تجزیه شکمبه-ای آن، استفاده از کنجاله کانولا به‌عنوان یک منبع پروتئین غیر قابل تجزیه در شکمبه محدود می‌باشد. تجزیه‌پذیری بالای پروتئین خام کنجاله کانولا، محققین را به عمل‌آوری این ماده خوراکی رهنمون ساخته است. هزینه عمل‌آوری کنجاله کانولا به‌وسیله مزایای پروتئین عبوری شده جبران می‌شود (۲۰). روش‌های مختلف عمل‌آوری از جمله روش‌های فیزیکی و شیمیایی به‌منظور کاهش تجزیه شکمبه‌ای پروتئین‌های کنجاله کانولا به‌کار گرفته شده اند. اما بسیاری از این فرآیندها بر قابلیت هضم روده‌ای فرآورده نهایی تاثیر نامطلوب دارند. یکی از روش‌هایی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، فرآیند پرتوتابی می‌باشد (۲۷). پرتوتابی فرآیندی است که در آن مواد خوراکی در معرض پرتوهای یون‌سازی مانند اشعه گامای ساطع شده از منابع کبالت ۶۰ یا

سزیم ۱۳۷ و یا الکترون‌های پرانرژی تولید شده توسط شتاب دهنده‌ها قرار می‌گیرند (۲۸). پرتوهای یون‌ساز بر ساختار پروتئین تاثیر گذاشته و باعث واسرشتی آن می‌شوند. بیان شده است که پرتوتابی ممکن است باعث تشکیل پیوندهای عرضی و به‌هم چسبیدگی پروتئین‌ها شود (۸، ۱۳).

از جمله مزایای تیمار پرتو الکترون می‌توان به زمان کوتاه فرآیند، کارایی نسبتاً بالا، تغییرپذیری کم، حرارت پایین، تجهیزات ارزان، عدم ایجاد باقی‌مانده‌ها در محصولات، کنترل بهتر و دقیق‌تر دز و عدم نیاز به شستشو با آب اشاره کرد. از سوی دیگر پرتوتابی گاما به‌دلیل قابلیت نفوذ بیشتر و تولید گرمای ناچیز مورد توجه بیشتر قرار دارد (۲۶، ۱۱).

هدف از انجام این طرح مقایسه اثرات پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا بود.

## مواد و روش‌ها

کنجاله کانولا از شرکت تعاونی گاوداران و اسب‌داران استان گلستان تهیه شد. پرتوتابی گامای کنجاله کانولا در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی، پزشکی و صنعتی کرج وابسته به پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، انجام گرفت. نمونه‌ها در دمای اتاق و اتمسفر هوا با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۰ کیلوگری مورد پرتوتابی قرار گرفتند. پرتوتابی با نرخ متوسط ۰/۳۴ گری در ثانیه، با استفاده از سیستم پرتوتابی آزمایشگاهی مدل PX-30 انجام شد. در این سیستم پرتوتابی از کبالت ۶۰ به‌عنوان چشمه پرتوزای گاما استفاده شد. کنترل کیفی پرتوتابی با به‌کارگیری سیستم دزی‌متر شیمیایی مرجع فریک، بر اساس استاندارد ASTM E1026-95 انجام شد (۲). پرتوتابی الکترونی کنجاله کانولا در مرکز پرتوفرآیند یزد، وابسته به پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. بدین منظور از شتاب‌دهنده الکترونی رودوترون[1] استفاده شد. نمونه‌های کنجاله با پرتو الکترونی ۱۰ مگا الکترون‌ولت و جریان باریکه الکترونی ۶ میلی‌آمپر با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری و با خطای کمتر از ۵ درصد پرتوتابی شدند. روش پرتوتابی به‌صورت یک‌طرفه بود.

به‌منظور دقت در دز داده شده به نمونه‌ها، اندازه گیری دز با استفاده از کالری‌متر پلی‌استراین (دزی‌متر مرجع) صورت گرفت.

به‌منظور انجام آزمایش تجزیه‌پذیری و نیز تعیین قابلیت هضم برون‌تنی کنجاله کانولا، از سه راس گاو نر تالشی (۱۰±۳۵۰ کیلوگرم) مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. دام‌ها در سطح نگهداری و با جیره بر اساس نسبت ۶۰ درصد علوفه و ۴۰ درصد کنسانتره تغذیه شدند. اجزای جیره شامل یونجه، کاه گندم، دانه ذرت، دانه جو، کنجاله سویا، کربنات کلسیم و مکمل ویتامینی- معدنی به‌ترتیب به‌میزان ۵۴، ۵۴۳، ۴۳، ۳۰۱، ۵۲، ۲ و ۵ گرم در کیلوگرم ماده خشک بودند. خوراک دهی روزانه در دو وعده مساوی انجام می‌گرفت.

آزمایش تجزیه‌پذیری با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی انجام گرفت. کیسه‌ها از جنس داکرون ( الیاف پلی استر مصنوعی) با ابعاد ۲۰× ۱۰ سانتی‌متر و قطر منافذ ۴۵ تا ۵۰ میکرون بودند. نمونه‌های کنجاله کانولای عمل‌آوری نشده و عمل‌آوری شده با پرتوهای گاما و الکترون توسط آسیاب چکشی آزمایشگاهی دارای غربال ۲ میلی‌متری آسیاب شدند. سپس ۵ گرم از هر نمونه داخل کیسه‌های نایلونی قرار داده شد. زمان‌های ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت به‌منظور انکوباسیون شکمبه‌ای کیسه‌های نایلونی حاوی نمونه‌ها در نظر گرفته شدند. برای برآورد مقدار ناپدید شدن مواد خوراکی در زمان صفر، کیسه‌های حاوی نمونه‌های مواد خوراکی به‌مدت ۳۰ دقیقه توسط ماشین لباسشویی شستشو شدند. پس از پایان یافتن هر زمان انکوباسیون، کیسه‌های حاوی مواد باقی‌مانده از طریق فیستولا از شکمبه خارج شده و به‌مدت ۳۰ دقیقه در ماشین لباسشویی با آب سرد شسته شدند. پس از شستشو، کیسه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون ۶۵ درجه خشک شدند. در نهایت مقدار نمونه باقی‌مانده در کیسه‌ها تعیین شد. سپس محتوی پروتئین نمونه‌های باقی‌مانده در کیسه‌ها به‌منظور تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای آن تعیین شد. برآورد فرآنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام کنجاله کانولا با استفاده از معادلات غیرخطی Orskov and McDonald (۲۲) انجام شد. بدین منظور از نرم‌افزار *Fit curve* استفاده شد.

به‌منظور تعیین قابلیت هضم برون تنی کنجاله‌ها از روش هضم دو

[1]- Rhodotron (Model TT-2200, IBA Co., Belgium)

مرحله‌ای استفاده شد (۳۱). ابتدا نمونه‌ها با الک ۱ میلی‌متری آسیاب شده و سپس توسط آون خشک شدند. سپس ۰/۵ گرم از هر نمونه در ارلن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد. برای هر نمونه ۳ تکرار در نظر گرفته شد. ۳ ارلن هم بدون نمونه و به‌عنوان شاهد استفاده شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح و از طریق فیستولا جمع‌آوری شده و در آزمایشگاه به‌وسیله دو لایه پارچه مخصوص صاف می‌شد. سپس مایع صاف شده در ارلن درب‌دار ریخته می‌شد. پس از وارد نمودن گاز دی‌اکسید کربن درب ارلن را بسته و در حمام آب گرم ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شد. به‌منظور تهیه بزاق مصنوعی، مقادیر ۹/۸ گرم بی‌کربنات سدیم، ۳/۷۱ گرم فسفات هیدروژن دی‌سدیم دهیدرات، ۰/۵۷ گرم کلرید پتاسیم، ۰/۴۷ گرم کلرید سدیم و ۰/۱۲ گرم سولفات منیزیم را در آب مقطر دوبار تقطیر حل کرده و در بالن ۱ لیتری به حجم رسانده شدند. برای هر نمونه مقدار ۴۰ میلی‌لیتر از بزاق مصنوعی فوق استفاده شد. حدود نیم‌ساعت قبل از هضم بی‌هوازی، ۱ میلی‌لیتر محلول ۴ درصد (حجم/وزن) کلرید کلسیم به هر لیتر بزاق مصنوعی اضافه شده و با وارد کردن گاز دی‌اکسید کربن به‌مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، اسیدیته محلول به ۶/۹ تا ۷ کاهش داده شد. سپس بزاق مصنوعی و مایع شکمبه که در حمام آب گرم قرار داشتند، به نسبت ۴ به ۱ (۴ حجم بزاق مصنوعی و ۱ حجم مایع شکمبه) با هم مخلوط شدند. سپس به محلول به‌دست آمده به‌مدت ۴ تا ۵ دقیقه گاز دی‌اکسید کربن وارد گردید. به هر یک 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 دی‌اکسید کربن وارد نموده و درب هر یک 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 می‌شدند. در پایان ۴۸ ساعت هضم بی‌هوازی، تمامی ارلن‌ها از حمام آب گرم خارج شده و درب آن‌ها به آرامی باز شد. سپس در 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 گذاشته و به‌مدت ۴۶ ساعت در حمام آب‌گرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در این مرحله نیز مطابق مرحله قبل ارلن‌ها تکان داده می‌شدند. 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 خلاء صاف شده و محتویات هضم نشده از فاز مایع جدا شدند. کاغذهای صافی حاوی مواد هضم نشده را به آرامی از قیف بوخنر جدا کرده 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.

آزمایش تجزیه‌پذیری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، و آزمایش قابلیت هضم برون تنی در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۲۵) و رویه GLM تجزیه شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن استفاده شد. به‌منظور تعیین ارتباط بین دز پرتوهای یون‌ساز و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام و نیز قابلیت هضم برون تنی کنجاله‌ها، از تجزیه رگرسیون خطی ساده استفاده شد.

## نتایج و بحث

مقایسه میانگین فرآسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک کنجاله کانولای عمل‌آوری نشده (شاهد) و عمل‌آوری شده با دزهای مختلف پرتوهای گاما و الکترون در جدول ۱ ارائه شده است. پرتوتابی باعث کاهش بخش سریع تجزیه و افزایش بخش کند تجزیه ماده خشک شد ($P<0/05$)، اما بر ثابت نرخ تجزیه تاثیری نداشت ($P>0/05$). تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک تحت تاثیر پرتوتابی کاهش یافت ($P<0/05$). اختلاف بین پرتوهای الکترون و گاما از نظر تاثیر بر فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک معنی‌دار بود ($P<0/05$).

در کنجاله کانولای پرتوتابی نشده، مقدار بخش سریع تجزیه ماده خشک ۲۵/۱۳ درصد به‌دست آمد. پرتو الکترون تاثیری بر این

فراسنجه نداشت (P>۰/۰۵)، اما اشعه گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار آن را به ترتیب ۲۴/۵۱ و ۲۰ درصد کاهش داد (P<۰/۰۵). پرتو گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار بخش کند تجزیه ماده خشک کنجاله کانولا را از ۲۸/ ۵۹ درصد به‌ترتیب به ۳۷/ ۶۷ و ۶۶/۹۲ درصد افزایش داد (P<۰/۰۵). پرتو الکترون تاثیری بر ثابت نرخ تجزیه نداشت (P>۰/۰۵)، اما اشعه گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری مقدار آن را از ۰/۱۰۸ در ساعت به‌ترتیب به ۰/۰۶۵ و ۰/۰۶۱ در ساعت کاهش داد (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک کنجاله کانولای عمل‌آوری نشده در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت، ۶۵/۶۳ درصد به‌دست آمد. پرتو الکترون تاثیری بر این صفت نداشت (P>۰/۰۵)، اما پرتو گاما در دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار آن را به‌ترتیب ۱۳/۱۵ و ۱۳/۵۶ درصد کاهش داد (P<۰/۰۵).

فرآسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر شکمبه‌ای پروتئین خام کنجاله کانولای پرتوتابی نشده (شاهد) و پرتوتابی شده با دزهای مختلف اشعه گاما و پرتو الکترون در جدول ۲ ارائه شده‌اند. پرتوهای یون‌ساز بخش‌های سریع تجزیه، کند تجزیه و ثابت نرخ تجزیه پروتئین خام کنجاله کانولا را به‌ترتیب کاهش، افزایش و کاهش دادند (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام در سرعت‌های عبور شکمبه‌ای ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت به‌وسیله عمل‌آوری پرتوتابی کاهش یافت (P<۰/۰۵).

در کنجاله کانولای پرتوتابی نشده مقدار بخش سریع تجزیه پروتئین خام ۱۹/۷۳ درصد به‌دست آمد. پرتوتابی کنجاله کانولا با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما باعث کاهش بخش سریع تجزیه پروتئین خام آن به‌ترتیب به‌میزان ۲۶/۲۵، ۲۳/۶۲ و ۳۷/۵۶ درصد شد (P<۰/۰۵). پرتوتابی این کنجاله با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری الکترون تاثیری بر بخش سریع تجزیه پروتئین خام آن نداشت (P>۰/۰۵). مقدار بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله کانولای پرتوتابی نشده ۵۹/۰۵ درصد به‌دست آمد. دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما باعث افزایش بخش کند تجزیه پروتئین خام کنجاله کانولا به‌ترتیب به‌میزان ۱۴/۷۷و ۲۸/۲۵ درصد نسبت به شاهد شدند (P<۰/۰۵). عمل‌آوری کنجاله کانولا با دز ۷۵ کیلوگری پرتو الکترون، باعث افزایش این بخش به‌میزان ۱۴/۶۰درصد شد (P<۰/۰۵). مقدار ثابت نرخ تجزیه کنجاله کانولای پرتوتابی نشده ۰/۰۶۵ در ساعت به‌دست آمد. پرتوتابی کنجاله کانولا با دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما باعث کاهش ثابت نرخ تجزیه آن به‌میزان ۴۰ و ۵۲/۳۱ درصد نسبت به شاهد شدند (P<۰/۰۵). همچنین دز ۷۵ کیلوگری پرتو الکترون، ثابت نرخ تجزیه کنجاله کانولا را به‌میزان ۴۱/۵۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت ۶۴/۶۷ درصد به‌دست آمد. در این سرعت عبور، دزهای ۵۰ و ۷۵ کیلوگری پرتو گاما و دز ۵۰ کیلوگری پرتو الکترون، تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا را به‌ترتیب به‌میزان ۷/۴۲ ، ۹/۵۴ و ۶/۴۵ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت ۵۲/۸۷ درصد به‌دست آمد. پرتوتابی کنجاله کانولا با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما میزان تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام آن را در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت به‌ترتیب به‌میزان ۷/۳۲، ۱۵/۳۲ و ۲۱/۶۴ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (P<۰/۰۵). این فرآسنجه توسط پرتو الکترون در دزهای مورد اشاره، به‌ترتیب به‌میزان ۵/۹۴، ۸/۶۴ و ۱۱/۵۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت ۴۶/۰۳ درصد به‌دست آمد. پرتوتابی کنجاله کانولا با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما، تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام آن را در سرعت عبور ۸ درصد در ساعت به‌ترتیب به‌میزان ۹/۶۹، ۱۸/۹۷ و ۲۷ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (P<۰/۰۵). همچنین عمل‌آوری این کنجاله پروتئینی با دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری پرتو الکترون، مقدار تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام آن را در این سرعت عبور به‌ترتیب به‌میزان ۷/۲۳، ۹/۸۴ و ۱۴/۳۰ درصد نسبت به شاهد کاهش داد (P<۰/۰۵).

پرتو یون‌ساز همانند حرارت از جمله عوامل فیزیکی واسرشت کننده پروتئین است. این نوع پرتو در مواد خوراکی مرطوب و آب‌دار سبب یونیزه شدن مولکول‌های آب به یون‌های فعال شده و با تولید

پراکسید سبب ایجاد تغییرات فیزیکوشیمیایی در پروتئین‌ها و واسرشتی آن‌ها می‌شود (۱۷، ۵). واسرشتی باعث افزایش سطح آب‌گریزی پروتئین می‌شود (۲۷).

بدین ترتیب محلولیت پروتئین‌ها کاهش می‌یابد. نتایج مطالعات میکروکالری‌متر نشان داده که دز بالای پرتوتابی (۳۵ کیلوگری) ویژگی‌های ترمودینامیکی آلفالاکتالبومین را تغییر داده و سبب کاهش آنتالپی واسرشتی پروتئین می‌شود (۳). همچنین پرتو گاما سبب کاهش حل شدن پروتئین از طریق پیوند عرضی بین زنجیره‌ها و انباشتگی پروتئین می‌شود (۱۹، ۱۳). Lee et al. (۱۸) نشان دادند که پرتوتابی محلولیت پروتئین را کاهش می‌دهد و آن هم به این دلیل است که باعث به‌هم چسبیدن پروتئین‌ها می‌شود.

در پژوهش حاضر دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری اشعه گاما مقدار تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت را از ۵۲/۸۷ درصد به‌ترتیب به ۴۹، ۴۴/۷۷ و ۴۱/۴۳ درصد کاهش داد.

تیمار پرتو الکترون در دزهای مورد اشاره مقدار این صفت را به‌ترتیب به ۴۹/۷۳، ۴۸/۳۰ و ۴۶/۷۵ درصد کاهش داد. Ebrahimi-Mahmoudabad and Taghinejad-Roudbaneh (۸) گزارش کردند که در دانه کانولای پرتوتابی شده با دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو الکترون، مقدار تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام به‌طور خطی کاهش یافت. Taghinejad-Roudbaneh, Ebrahimi, Azizi and Shawrang (۲۹) گزارش کردند که دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو الکترون تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا را به‌ترتیب به‌میزان ۸/۲ و ۲۱ درصد نسبت به شاهد کاهش دادند.

پرتوتابی باعث باز شدن تاخوردگی ساختمان‌های پروتئین و واسرشتی آن می‌شود. به‌این ترتیب باعث افزایش سطح آب‌گریزی پروتئین‌ها از طریق در معرض قرار دادن گروه‌های غیر قطبی می‌شود (۱۳). تحت این شرایط، پروتئین‌ها که تاخوردگی آن‌ها باز شده، تشکیل پیوندهای عرضی داده و یا متراکم می‌شوند. این پروتئین‌ها حساسیت کمتری به آنزیم‌های هیدرولیز کننده دارند (۴)، چرا که بیشتر باکتری‌های درگیر در تجزیه پروتئین، پروتئازهایی دارند که به سطح سلولی پیوسته بوده و جذب پروتئین‌های محلول به باکتری، برای تجزیه آن‌ها ضروری است (۱۶). بدین ترتیب پروتئین‌ها از تجزیه میکروبی در شکمبه در امان مانده و به‌منظور هضم و جذب وارد روه باریک می‌شوند.

**جدول ۱- اثرات پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون بر فرآسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک کنجاله کانولا**

| | بخش سریع تجزیه(a) | بخش کند تجزیه(b) | پتانسیل تجزیه پذیری(a+b) | ثابت نرخ تجزیه (c) | تجزیه پذیری‌مؤثر(درصد) در سرعت عبور(درصد در ساعت) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | درصد | درصد | درصد | در ساعت | ۲ | ۵ | ۸ |
| کنجاله کانولا (شاهد) | ۲۵/۱۳$^{bc}$ | ۵۹/۲۸$^{b}$ | ۸۴/۴۱$^{c}$ | ۰/۱۰۸$^{a}$ | ۷۵/۱۳$^{a}$ | ۶۵/۶۳$^{a}$ | ۵۹/۱۶$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری گاما | ۲۴/۷۸$^{c}$ | ۵۹/۹۷$^{b}$ | ۸۴/۷۵$^{bc}$ | ۰/۱۰۵$^{a}$ | ۷۵/۲۷$^{a}$ | ۶۵/۵۳$^{a}$ | ۵۹/۰۰$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری گاما | ۱۸/۹۷$^{d}$ | ۶۷/۳۷$^{a}$ | ۸۶/۳۴$^{ab}$ | ۰/۰۶۵$^{b}$ | ۷۰/۳۷$^{b}$ | ۵۷/۰۰$^{b}$ | ۴۹/۲$^{b}$ |
| کنجاله کانولا- ۷۵ کیلوگری گاما | ۲۰/۱۰$^{d}$ | ۶۶/۹۲$^{a}$ | ۸۷/۰۱$^{a}$ | ۰/۰۶۱$^{b}$ | ۷۰/۳۳$^{b}$ | ۵۶/۷۳$^{b}$ | ۴۹/۰۰$^{b}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری الکترون | ۲۷/۳۸$^{a}$ | ۵۶/۴۹$^{c}$ | ۸۳/۸۷$^{c}$ | ۰/۱۰۶$^{a}$ | ۷۴/۷۰$^{a}$ | ۶۵/۵۳$^{a}$ | ۵۹/۳۷$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری الکترون | ۲۷/۴۰$^{a}$ | ۵۶/۸۵$^{c}$ | ۸۴/۲۵$^{c}$ | ۰/۱۰۴$^{a}$ | ۷۴/۹۷$^{a}$ | ۶۵/۷$^{a}$ | ۵۹/۴۷$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۷۵ کیلوگری الکترون | ۲۶/۶۷$^{ab}$ | ۵۹/۰۰$^{b}$ | ۸۵/۶۷$^{ab}$ | ۰/۱۰۱$^{a}$ | ۷۵/۵۷$^{a}$ | ۶۵/۸$^{a}$ | ۵۹/۲۶$^{a}$ |

**ادامه جدول ۱**

| | بخش سریع تجزیه(a) درصد | بخش کند تجزیه(b) درصد | پتانسیل تجزیه پذیری(a+b) درصد | ثابت نرخ تجزیه (c) در ساعت | تجزیه پذیری‌مؤثر(درصد) در سرعت عبور(درصد در ساعت) ۲ | ۵ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SEM | ۰/۳۷ | ۰/۳۳ | ۰/۳۶ | ۰/۰۰۴ | ۰/۵۹ | ۰/۷۷ | ۰/۷۸ |
| **مقایسات گروهی** | | | | | | | |
| شاهد در برابر پرتو | ۰/۰۵۸۰ | ۰/۰۰۰۲ | ۰/۰۸۶۴ | ۰/۰۷۲۲ | ۰/۰۵۶۱ | ۰/۰۳۱۷ | ۰/۰۲۴۶ |
| شاهد در برابر الکترون | ۰/۰۰۰۸ | ۰/۰۰۰۴ | ۰/۷۳۳۳ | ۰/۶۷۲۷ | ۰/۹۴۷۰ | ۰/۹۷۳۴ | ۰/۸۸۷۹ |
| شاهد در برابر گاما | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۱۸ | ۰/۰۰۶۳ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۵ | ۰/۰۰۰۳ |
| الکترون در برابر گاما | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۰۱۵ | <۰/۰۰۰۱ | | <۰/۰۰۰۱ |

در هر ستون، اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵). ÷

SEM = اشتباه معیار میانگین

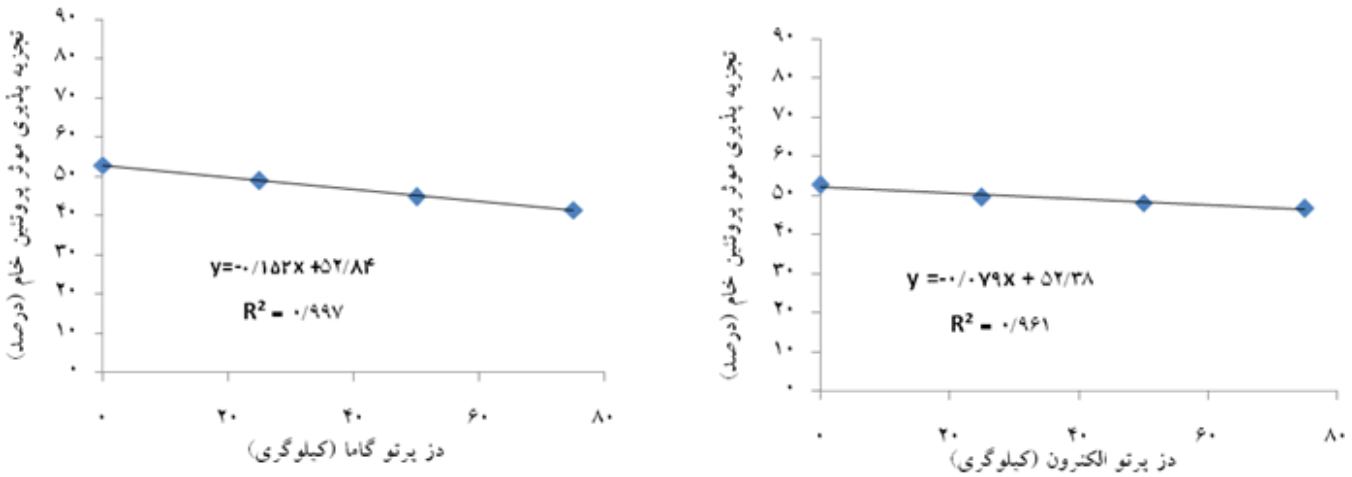
**جدول ۲- اثرات پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون بر فرآسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا**

| | بخش سریع تجزیه(a) درصد | بخش کند تجزیه(b) درصد | پتانسیل تجزیه پذیری(a+b) درصد | ثابت نرخ تجزیه (c) در ساعت | تجزیه‌پذیری مؤثر(درصد) در سرعت عبور(درصد در ساعت) ۲ | ۵ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کنجاله کانولا (شاهد) | ۱۹/۷۳$^{a}$ | ۵۹/۰۵$^{d}$ | ۷۸/۷۸$^{bc}$ | ۰/۰۶۵$^{a}$ | ۶۴/۶۷$^{a}$ | ۵۲/۸۷$^{a}$ | ۴۶/۰۳$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری گاما | ۱۴/۵۵$^{bc}$ | ۶۱/۲۷$^{cd}$ | ۷۵/۸۲$^{c}$ | ۰/۰۶۴$^{a}$ | ۶۲/۰۳$^{abc}$ | ۴۹/۰۰$^{bc}$ | ۴۱/۵۷$^{bc}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری گاما | ۱۵/۰۷$^{bc}$ | ۶۷/۷۷$^{b}$ | ۸۲/۸۴$^{ab}$ | ۰/۰۳۹$^{cd}$ | ۵۹/۸۷$^{bc}$ | ۴۴/۷۷$^{d}$ | ۳۷/۳۰$^{d}$ |
| کنجاله کانولا- ۷۵ کیلوگری گاما | ۱۲/۳۲$^{c}$ | ۷۵/۷۳$^{a}$ | ۸۸/۰۵$^{a}$ | ۰/۰۳۱$^{d}$ | ۵۸/۵۰$^{c}$ | ۴۱/۴۳$^{e}$ | ۳۳/۶۰$^{e}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری الکترون | ۱۸/۸۷$^{a}$ | ۶۱/۲۸$^{cd}$ | ۸۰/۱۵$^{bc}$ | ۰/۰۵۲$^{abc}$ | ۶۲/۷۷$^{ab}$ | ۴۹/۷۳$^{b}$ | ۴۲/۷۰$^{b}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری الکترون | ۱۷/۵۴$^{ab}$ | ۵۸/۴۰$^{d}$ | ۷۵/۹۴$^{c}$ | ۰/۰۵۶$^{ab}$ | ۶۰/۵۰$^{bc}$ | ۴۸/۳۰$^{bc}$ | ۴۱/۵۰$^{bc}$ |
| کنجاله کانولا- ۷۵ کیلوگری الکترون | ۱۷/۰۱$^{ab}$ | ۶۵/۷۴$^{bc}$ | ۸۲/۷۵$^{ab}$ | ۰/۰۴۲$^{bcd}$ | ۶۱/۳۵$^{abc}$ | ۴۶/۷۵$^{cd}$ | ۳۹/۴۵$^{c}$ |
| SEM | ۰/۹۷۱ | ۱/۵۶۵ | ۱/۹۹۵ | ۰/۰۰۴۵ | ۱/۰۷۹ | ۰/۷۵۲ | ۰/۶۸۸ |
| **مقایسات گروهی** | | | | | | | |
| شاهد در برابر پرتو | ۰/۰۰۱۵ | ۰/۰۰۲۸ | ۰/۳۲۰۳ | ۰/۰۰۱۶ | ۰/۰۰۳۵ | <۰/۰۰۰۱ | <۰/۰۰۰۱ |
| شاهد در برابر الکترون | ۰/۰۸۷۴ | ۰/۱۴۱۳ | ۰/۷۱۲۶ | ۰/۰۰۷۲ | ۰/۰۱۸۱ | | <۰/۰۰۰۱ |
| شاهد در برابر گاما | <۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۴۳۱ | ۰/۰۰۱۰ | ۰/۰۰۱۷ | | <۰/۰۰۰۱ |
| الکترون در برابر گاما | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۰۰۰۱ | ۰/۱۱۸۶ | ۰/۱۷۸۲ | ۰/۱۱۱۱ | | <۰/۰۰۰۱ |

در هر ستون، اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵). ÷

SEM = اشتباه معیار میانگین

ارتباط بین دز تابش پرتوهای یون‌ساز الکترون و گاما و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت در نگاره ۱ نشان داده شده است. تجزیه رگرسیون حاکی از معنی‌دار بودن ارتباط خطی بین دز تابش الکترون (P=۰/۰۰۰۳) و اشعه گاما (P<۰۰۰۱) و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام بود. به این صورت که با افزایش هر کیلوگری افزایش دز تابش الکترون، مقدار تجزیه-پذیری موثر پروتئین خام ۷/۹ درصد کاهش پیدا کرد (R2=۰/۹۶۱). به‌همین ترتیب با هر کیلوگری افزایش در دز اشعه گاما مقدار فرآسنجه مورد اشاره ۱۵/۴ درصد کاهش پیدا کرد (R2=۰/۹۹۷).




**نگاره۱- ارتباط بین دز پرتو های یون‌ساز الکترون و گاما و تجزیه‌پذیری موثر پروتئین خام کنجاله کانولا در سرعت عبور ۵ درصد در ساعت**

جدول ۳ مقایسه میانگین قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولای عمل‌آوری نشده و عمل‌آوری شده با تابش الکترون و اشعه گاما را نشان می‌دهد. به‌طور کلی عمل‌آوری کنجاله کانولا با پرتوهای یون‌ساز، قابلیت هضم ماده خشک کنجاله کانولا را افزایش داد (P<۰/۰۵). پرتوهای گاما و الکترون توانایی یکسانی در افزایش این صفت داشتند (P>۰/۰۵)

مقدار قابلیت هضم ماده خشک کنجاله کانولای پرتوتابی نشده ۷۳/۲۶ درصد به‌دست آمد. پرتو گاما در دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری، مقدار این صفت را به‌ترتیب به ۷۴/۸۰، ۷۶/۹۳ و ۷۶/۱۷ درصد افزایش داد. پرتو الکترون نیز در دزهای نام‌برده مقدار آن را به‌ترتیب به ۷۳/۵۱، ۷۷/۱۳ و ۷۶/۲۱ درصد افزایش داد.

Shawrang et al. (۲۷) اثرات دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری گاما را روی قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام عبوری کنجاله کانولا مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دز پرتوتابی، قابلیت هضم روده‌ای پروتئین خام نیز افزایش پیدا کرد. مقدار این افزایش برای دزهای ۲۵، ۵۰ و ۷۵ کیلوگری به‌ترتیب ۴، ۱۳ و ۲۰ درصد نسبت به شاهد بود. Ebrahimi, Nikkhah, Sadeghi and Raisali (۷) اثرات پرتوتابی گامای دانه کانولا با دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری را روی قابلیت هضم پروتئین خام تجزیه نشده در شکمبه مورد بررسی قرار دادند. با افزایش دز پرتوتابی، قابلیت هضم پروتئین خام با نرخ افزاینده‌ای زیاد شد. دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو گاما، قابلیت هضم پروتئین خام را ۱۵ و ۲۱ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. Taghinejad, Nikkhah, Sadeghi, Raisali and Chamani (۳۰)گزارش کردند که عمل‌آوری کنجاله کانولا با دزهای ۳۰ و ۴۵ کیلوگری اشعه گاما، مقدار قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام آن را به‌ترتیب به‌میزان ۱۰/۶ و ۱۵/۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. Taghinejad-Roudbaneh, Ebrahimi, Azizi and Shawrang (۲۹) اثرات دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو الکترون را روی قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام کنجاله کانولا مورد بررسی قرار دادند. دزهای ۱۵ و ۳۰ کیلوگری پرتو الکترون، باعث افزایش قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام کنجاله کانولا به‌ترتیب به‌میزان

۱۱ و ۸ درصد نسبت به شاهد شدند. Forooshani (۱۲) اثرات دز ۶۳ کیلوگری پرتو الکترون را بر ناپدیدشدن پس‌شکمبه‌ای کنجاله کانولا مورد بررسی قرار داد. ناپدید شدن پس‌شکمبه‌ای پروتئین عبوری کنجاله کانولای عمل‌آوری شده با الکترون نسبت به شاهد ۳/۷ درصد افزایش پیدا کرد. Ebrahimi-Mahmoudabad and Taghinejad-Roudbaneh (۸) افزایش خطی را در قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام دانه کانولای پرتوتابی شده با دزهای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ کیلوگری پرتو الکترون مشاهده کردند. آن‌ها گزارش کردند که دز ۴۵ کیلوگری پرتو الکترون قابلیت هضم برون تنی پروتئین خام دانه کانولا را ۲۲ درصد نسبت به شاهد افزایش داد.

عوامل ضد تغذیه‌ای موجود در کنجاله کانولا باعث عدم استفاده کارا از مواد مغذی موجود در آن می‌شوند. از جمله این عوامل ضد تغذیه‌ای می‌توان به گلوکوزینولات‌ها، اسید اروسیک و اسید فایتیک اشاره کرد (۱۴). بهبود قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا در نتیجه تیمار پرتوتابی می‌تواند به‌دلیل غیر فعال کردن عوامل ضد تغذیه‌ای توسط پرتوهای یون‌ساز باشد (۸). مطالعات برون تنی نشان داده اند که ترکیب پروتئین- فیتات غیرمحلول بوده و مقدار کمتری توسط آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین مورد حمله قرار می‌گیرد. بدین ترتیب ویژگی‌های عملکردی پروتئین کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرند. حذف نسبی فیتات در اثر پرتوتابی، شرایط را برای حمله آنزیمی فرآهم کرده و متعاقباً قابلیت هضم پروتئین افزایش می‌یابد (۱۰).

اسید فایتیک به‌عنوان یک کیلات با مواد معدنی و پروتئین‌ها تشکیل ترکیبات غیر محلولی می‌دهد که این منجر به کاهش زیست فرآهمی مواد معدنی کم مصرف و نیز کاهش قابلیت هضم پروتئین‌ها در روده باریک می‌شود (۲۸). حذف اسید فایتیک در اثر پرتو الکترون به تقسیم ساختمان فایتات و یا تشکیل اینوزیتول و یا فسفات اینوزیتول در اثر رادیکال‌های تشکیل شده در اثر فرآیند پرتوتابی است. بدین‌ترتیب فرآیند پرتوتابی، یک تیمار مناسب برای کاهش یا حذف عوامل ضد تغذیه‌ای مواد خوراکی بوده که متعاقباً افزایش قابلیت هضم و افزایش استفاده از پروتئین‌های آن را به همراه دارد (۱۰). همچنین به‌خوبی مشخص شده است که پرتوتابی می‌تواند باعث تحریک سایر عوامل نیز بشود. بازترکیب مولکولی و تغییرات در پیوندهای پپتیدی بین گروه‌های آمینوی اسیدهای آمینه می‌توانند بر فرآهمی تغذیه‌ای و استفاده بیولوژیکی از پروتئین‌های پرتوتابی شده تاثیر بگذارند.

چنین تغییراتی می‌توانند با قابلیت هضم پروتئین و یا ارزش بیولوژیکی آن تداخل کنند. بنابراین پرتوتابی ممکن است بدون صدمه زدن و یا تخریب اسیدهای آمینه، باعث افزایش یا کاهش قابلیت هضم پروتئین بشود (۹).

علاوه بر موارد اشاره شده، چنین فرض شده‌است که پرتوتابی باعث شکستن پیوندهای دی‌سولفیدی شده که این منجر به باز شدن تاخوردگی پروتئین می‌شود (۱۵).

بدین ترتیب پروتئین واسرشته می‌شود. واسرشتی پروتئین باعث در معرض قرار دادن اسیدهای آمینه آب‌گریز می‌شود. با توجه به این- که گروه‌های جانبی اسید آمینه آب‌گریز، گروه فعال شیمیایی برای آنزیم‌های پپسین، تریپسین، و کیموتریپسین هستند، پرتوتابی شرایط مناسبی برای فعالیت بیشتر این آنزیم‌ها در روده فرآهم می- کند ( ۲۱، ۱).

**جدول ۳- مقایسه میانگین قابلیت هضم برون تنی ماده خشک، ماده آلی و ماده آلی در ماده خشک در کنجاله کانولای پرتوتابی نشده و پرتوتابی شده با اشعه گاما و تابش الکترون**

| | ماده خشک (درصد) | ماده آلی (درصد) | ماده آلی در ماده خشک (درصد) |
|---|---|---|---|
| کنجاله کانولا- شاهد | ۷۳ /۲۶$^{c}$ | ۷۳/۶۸$^{ab}$ | ۶۷/۵۳$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری گاما | ۷۴/۸۰$^{bc}$ | ۷۳/۹۱$^{ab}$ | ۶۷/۶۳$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری گاما | ۷۶/۹۳$^{ab}$ | ۷۵/۹۹$^{ab}$ | ۶۹/۵۰$^{a}$ |

**ادامه جدول ۳**

| | ماده خشک (درصد) | ماده آلی (درصد) | ماده آلی در ماده خشک (درصد) |
|---|---|---|---|
| کنجاله کانولا- ۷۵ کیلوگری گاما | ۷۶/۱۷$^{ab}$ | ۷۴/۹۵$^{ab}$ | ۶۸/۷۰$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۲۵ کیلوگری الکترون | ۷۳/۵۱$^{c}$ | ۷۲/۸۴$^{b}$ | ۶۶/۹۶$^{a}$ |
| کنجاله کانولا- ۵۰ کیلوگری الکترون | ۷۷/۱۳$^{a}$ | ۷۶/۵۲$^{ab}$ | ۷۰/۲۱$^{a}$ |
| کنجاله کانولا-۷۵ کیلوگری الکترون | ۷۶/۲۱$^{ab}$ | ۷۷/۲۰$^{a}$ | ۷۰/۶۸$^{a}$ |
| | ۰/۶۷۱ | ۱/۱۶۰ | ۱/۰۶۸ |
| **مقایسات گروهی** | | | |
| شاهد در برابر پرتو | ۰/۰۱۰۰ | ۰/۳۰۰۲ | ۰/۳۰۴۹ |
| شاهد در برابر الکترون | ۰/۰۱۹۸ | ۰/۲۴۹۹ | ۰/۲۳۴۱ |
| شاهد در برابر گاما | ۰/۰۰۸۸ | ۰/۴۱۴۳ | ۰/۴۵۰۲ |
| الکترون در برابر گاما | ۰/۵۳۶۸ | ۰/۵۵۴۴ | ۰/۴۴۹۰ |

در هر ستون، اعداد با حروف غیر مشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵).

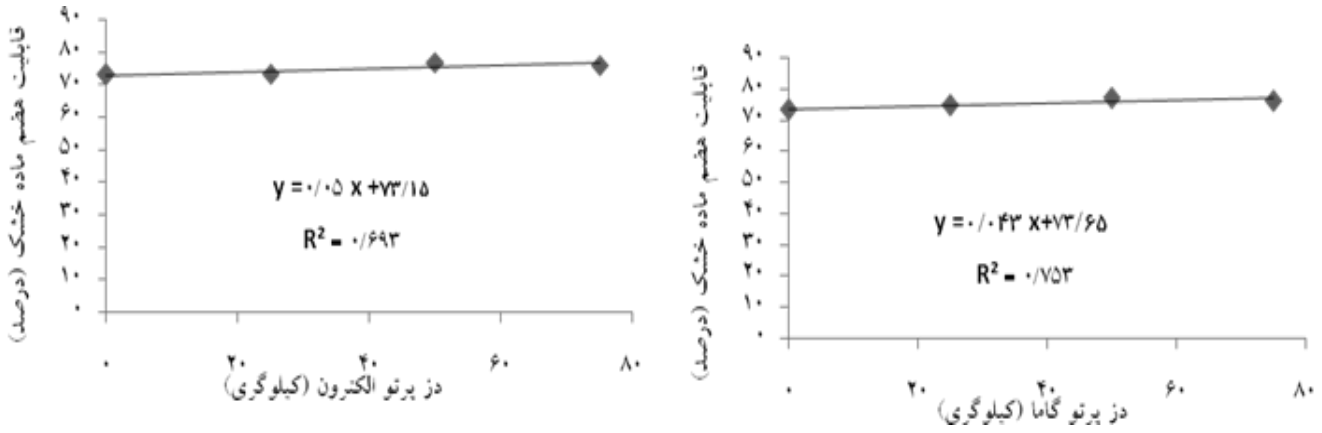
SEM: اشتباه معیار میانگین

از تجزیه رگرسیون به‌منظور تعیین ارتباط بین دز تابش پرتوهای یون‌ساز و قابلیت هضم برون تنی ماده خشک کنجاله کانولا استفاده شد (نگاره ۲). رابطه خطی بین دز پرتوهای الکترون گاما و قابلیت هضم ماده خشک معنی‌دار بود (به‌ترتیبP=۰/۰۲۷۷ و P=۰/۰۱۲۹). به ازای هر کیلوگری افزایش در دز پرتوهای الکترون و گاما، مقدار قابلیت هضم ماده خشک به‌ترتیب ۵ درصد (R2=۰/۶۹۳) و۴/۳ درصد (R2=۰/۷۵۳) افزایش یافت.

محققین بیان کرده اند که مقدار رادیکال‌های آزاد تولید شده در یک ماده تحت پرتو مستقیماً متناسب با دز پرتوتابی است. با افزایش در پرتو، اثرات آن روی فرآیند واسرشتی پروتئین بیشتر خواهد شد (۲۸). Lee, Lee and Song (۱۹) نشان دادند که دزهای کم پرتو گاما اثر کمی بر تشکیل مولکول‌های پروتئین با وزن زیاد داشتند. اما با افزایش دز پرتو، تشکیل این مولکول‌ها افزایش یافت.

## نتیجه گیری

پرتوتابی باعث کاهش تجزیه شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام کنجاله کانولا شد. در این خصوص، توانایی اشعه گاما بیشتر از پرتو الکترون بود. قابلیت هضم برون تنی کنجاله کانولا تحت تاثیر پرتوتابی افزایش یافت. به‌این صورت که با افزایش دز تابش پرتوهای الکترون و گاما، مقدار قابلیت هضم ماده خشک به‌طور خطی افزایش یافت. ضمن این‌که تاثیر پرتوهای الکترون و اشعه گاما در افزایش این صفت یک‌سان بود. پیشنهاد می‌گردد که پژوهش‌های تکمیلی در خصوص تاثیر تغذیه کنجاله کانولای عمل‌آوری شده با پرتوهای یون‌ساز بر عملکرد نشخوارکنندگان و مقایسه آن با روش‌های متداول عمل‌آوری انجام شوند.




**نگاره ۲- ارتباط بین دز پرتوهای یون‌ساز گاما و الکترون و قابلیت هضم ماده خشک کنجاله کانولا**

## منابع مورد استفاده


1- Abu, J.O. Muller, K. Duodu, K.G. and Minnaar, A. (2006) Gamma irradiation of cowpea (*Vigna unguiculata* L. *Walp*) flours and pastes: Effects on functional, thermal and molecular properties of isolated proteins. Food Chem. 95, 138-147.

2- ASTM. (1984) Method for using the Fricke dosimeter to measure absorbed dose in water. ASTM Standard E 1026.

3- Chapelier, A. Desmadril, M. and Houe e-Levin, C. (2001) Gamma irradiation effects on α-lactalbumin: structural modifications. Can. J. Physiol. Pharmacol. 79, 154-157.

4- Cho, Y. Yang, J.S. and Song, K.B. (1999) Effect of ascorbic acid and protein concentration on the molecular weight profile of bovine serum albumin and b-lactoglobulin and c-irradiation. Food Res. Int. 32, 515-519.

5- Ciesla, K. Roos, Y. and Gluszewski, W. (2000) Denaturation processes in gamma irradiated proteins studied by differential scanning calorimetry. Radiat. Phys. Chem. 58, 233-243.

6- Dhali, A. Mishra, D.P. Mehla, R.K. and Sirohi, S.K. (2006) Usefulness of milk urea concentration to monitor the herd reproductive performance in crossbred karanfries cows. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 19, 26-30.

7- Ebrahimi, S.R. Nikkhah, A. Sadeghi, A.A. and Raisali, G. (2009) Chemical composition, secondry compounds, ruminal degradation and *in vitro* crude protein digestibility of gamma irradiated canola seed. Anim. Feed Sci. Technol. 151, 184-193.

8- Ebrahimi-Mahmoudabad, S.R. and Taghinejad-Roudbaneh, M. (2011) Investigation of electron beam irradiation effects on anti-nutritional factors, chemical composition and digestion kinetics of whole cottonseed, soybean and canola seed. Radiat. Phys. Chem. 80, 1441-1447.

9- El-Hakim, N.F. Yousri, R.M. Roushdy, H. and Farag, M.D. (1991) Nutritional evaluation of irradiated animal protein by-products. Isotopenpraxis. 27, 104-108.

10- El-Shazali, A.M. Nahid, A.A. Salma, H.A. and El-Fadil, E.B. (2011) Effect of radiation process on antinutrients, protein digestibility and sensory quality of pearl millet flour during processing and storage. Int. Food Res. J. 18, 1401-1407.

11- Fintzou, A.T. Kontominas, M.G. Badeka, A.V. Stahl, M.R. and Riganakos, K.A. (2007) Effect of electron beam and gamma-irradiation on physicochemical and mechanical properties of polypropylene syringes as a function of irradiation dose: Study under vacuum. Radiat. Phys. Chem. 76, 1147-1155.

12- Forooshani, MJ. (2010) Effect of electron beam irradiation on dry matter and crude protein degradability of soybean and canola meal and performance of lactating Holstein cows. Degree Diss., Univ. IUT, Iran.

13- Gaber, M.H. (2005) Effect of g-irradiation on the molecular properties of bovine serum albumin. J. Biosci. Bioeng. 100, 203-206.

14- Gharaghani, H. Zaghari, M. shahhoseini, G. and Moravej, H. (2008) Effect of gamma irradiation on antinutritional factors and nutritional value of canola meal for broiler chickens. Asian–Aust. J. Anim. Sci. 21, 1479-1485.

15- Koksel, H. Sapirstein, H.D. Celik, S. and Bushuk, W. (1998) Effects of gamma irradiation of wheat on gluten proteins. J. Cereal Sci. 28, 243-250.

16- Kopecny, J. and Wallace, R.J. (1982) Cellular location and some properties of proteolytic enzymes of rumen bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 43, 1026-1033.

17- Kridli, R.T. Haddad, S.G. and Muwalla, M.M. (2001) The effect of feeding ruminally undegradable protein on postpartum reproduction of Awassi Ewes. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 14, 1125-1128.

18- Lee, J.W. Kim, J.H. Yook, H. S. Kang, K.O. Lee, S.Y. Hwang, H.J. and Byun, M.W. (2001) Effect of gamma irradiation on the allergenic and antigenic properties of milk proteins. J. Food Prot. 64, 272-276.

19- Lee, S.L. Lee, M.S. and Song, K.B. (2005) Effect of gamma-irradiation on the physicochemical properties of gluten films. Food Chem. 92, 621-625.

20- Maesoomi, S.M. Ghorbani, G.R. Alikhani, M. and Nikkhah, A. (2006) Canola meal as a substitute for cottonseed meal in diet of midlactation Holsteins. J. Dairy Sci. 89, 1673-1677.

21- Murray, K. Granner, D.K. Mayes, P.A. and Rodwell, V.W. (2003) Harper's Biochemistry, 26th ed. McGraw-Hill, New York, NY, USA.

22- Orskov, E.R. and McDonald, I. (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rumenrate of passage. J. Agric. Sci. Camb. 92, 499-503.

23- Salamatdoust-Nobar, R. Chamani, M. Sadeghi, A.A. and Aghazadeh, A.M. (2009) Determination of degradability of treated soybean meal and its protein fractions. Afr. J. Biotechnol. 8, 98-102.

24- Sandrock, C.M. Armentano, L.E. Thomas, D.L. and Berget, Y.M. (2009) Effect of protein degradability on milk production of dairy ewes. J. Dairy Sci. 92, 4507-4513.

25- SAS. (2003) *SAS User's Guide: Statistics, Version 9.1 Edition*.SAS Institute, Cary, NC, USA.

26- Shawrang, P. Mansouri, M.H. Sadeghi, A.A. and Ziaie, F. (2011) Evaluation and comparison of gamma and electron beam irradiation effects on total and free gossypol of cottonseed meal. Radiat. Phys. Chem. 80, 761-762.

27- Shawrang, P. Nikkhah, A. Zare-Shahneh, A. Sadeghi, A.A. Raisali, G. and Moradi-Shahrbabak, M.M. (2008) Effects of gamma irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. Radiat. Phys. Chem. 77, 918-922.

28- Siddhuraju, P. Makkar, H.P.S. and Becker, K. (2002) The effect of ionizing radiation on antinutritional factors and the nutritional value of plant materials with reference to human and animal food. Food Chem. 78, 187-205.

29- Taghinejad- Roudbaneh, M. Ebrahimi, S.R. Azizi, S. and Shawrang, P. (2010) Effect of electron beam irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and *in vitro* protein digestibility of canola meal. Radiat. Phys. Chem. 79, 1264-1269.

30- Taghinejad, M. Nikkhah, A. Sadeghi, A.A. Raisali, G. and Chamani, M. (2009) Effects of gamma irradiation on chemical composition, antinutritional factors, ruminal degradation and *in vitro* protein degradability of full-fat soybean. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 22, 534-541.

31- Tilly, J.M.A. and Terry, R.A. (1963) A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. J. Br. Grassland Soc. 18, 104-111.

32- Tuncer, S.D. and Sacakli, P. (2003) Rumen degradability characteristics of xylose treated canola and soybean meals. Anim. Feed Sci. Technol. 107, 211-218.

33- Wright, C.F. (1995) The evaluation of heat and lignosulfonate treated canola meal and sources of rumen undegradable protein for lactating cows. B. Sc. Thesis. University of British Columbia. 103p