تحقیقات تولیدات دامی

سال دهم/شماره دوم/تابستان ۱۴۰۰ (۶۲-۵۱)

Animal Production Research

دانشگاه گیلان

مقاله پژوهشی

تاثیر پرتو الکترون و بخار آب با فشار پایین بر بهبود ارزش تغذیه‌ای پودر هسته خرما برای نشخوارکنندگان

مرتضی چاجی[1*]، حسن خنیفر[2]

۱-استاد، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام، گروه علوم دامی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۰۹ - تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۸)

چکیده

آزمایش حاضر با هدف بررسی تاثیر عمل‌آوری با پرتو الکترون (پرتو) و بخار آب با فشار پایین (بخار) بر ارزش تغذیه‌ای پودر هسته خرما برای نشخوارکنندگان انجام شد. ابتدا پودر هسته خرما با پرتو الکترون در دوزهای صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگری پرتودهی شد. سپس بخشی از هسته‌های خرمای پرتودهی شده با بخار آب (۱۳۴ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه) عمل‌آوری شدند. هضم و تخمیر آزمایشگاهی پودر هسته خرما با استفاده از روش تولید گاز و هضم دو مرحله‌ای اندازه‌گیری شد. در مقایسه با گروه شاهد، پرتودهی با الکترون یا بخار آب منجر به کاهش درصد NDF و ADF ($P<۰/۰۵$)، افزایش معنی‌دار پتانسیل و نرخ تولید گاز، عامل تفکیک، ماده آلی واقعاً تجزیه شده و قابلیت هضم ماده خشک، NDF و ADF هسته خرما شد ($P<۰/۰۵$) و تیمار ۱۰۰ کیلوگری بهترین عملکرد را داشت ($P<۰/۰۵$). در کل، عمل‌آوری هسته خرما با بخار آب یا پرتو الکترون به تنهایی باعث بهبود ارزش تغذیه‌ای هسته خرما شد، اما در مقایسه با شاهد، عمل‌آوری با بخار بعد از پرتودهی (اثر متقابل) تاثیر افزایشی معنی‌داری نداشت. لذا، نتایج آزمایش حاضر به این موضوع اشاره دارد که پرتودهی به تنهایی بخش زیادی از ظرفیت ممکن برای بهبود ارزش تغذیه‌ای هسته خرما را به خود اختصاص داده است و استفاده از بخار آب پس از پرتودهی نتوانسته است تاثیر بیشتری داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: پرتوی الکترون، پودر هسته خرما، ترکیب شیمیایی، قابلیت تخمیر، قابلیت هضم

* نویسندهٔ مسئول: chaji@asnrukh.ac.ir

doi: 10.22124/AR.2021.16944.1539

مقدمه

هسته خرما از جمله محصولات فرعی است که به عنوان ضایعات در بسیاری از کارگاه‌های فرآوری خرما نظیر تهیه شهد و شیره، قند، اسید سیتریک و الکل از خرما تولید می‌شود که در برخی کشورها مقداری از این هسته صرف خوراک دام‌های اهلی می‌شود و یافتن راه حلی جهت مصرف با بازده این فرآورده جانبی کشاورزی ضروری است (Devshony *et al.*, 1992). ماده خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و خاکستر هسته خرما به ترتیب در حدود ۹۳/۳۹، ۸/۱۶، ۵۹، ۸۰ و ۳/۹ درصد است. با توجه به این ترکیب شیمیایی، احتمالاً با عمل‌آوری هسته خرما می‌توان آن را به عنوان منبع غذایی برای دام‌های نشخوارکننده مورد استفاده قرار داد (خنیفر و چاجی، ۱۳۹۹). ارزش تغذیه‌ای هسته خرما را می‌توان به کمک یک عمل‌آوری مناسب بهبود داد. هدف از عمل‌آوری، لیگنین‌زدایی و شکستن پیوندهای لیگنوسلولزی اجزای دیواره سلولی است (Chaji *et al.*, 2011; Karp *et al.*, 2013). بدین ترتیب، سلولز و همی سلولز به راحتی در دسترس میکروب‌های شکمبه قرار گرفته و میزان مصرف اختیاری و نیز قابلیت هضم افزایش می‌یابد (Chaji *et al.*, 2011). برای بهبود ارزش تغذیه‌ای بقایای محصولات زراعی از عمل‌آوری‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، زیستی و آنزیمی استفاده شده است (Karp *et al.*, 2013). پرتوتابی مواد خوراکی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است، یک روش عمل‌آوری فیزیکی شامل استفاده کنترل شده از انرژی پرتوهای یون‌ساز شامل اشعه گاما و یا الکترون است (اسدنژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Taghinejad *et al.*, 2009). به‌طور کلی، عمل‌آوری پرتوتابی نسبت به سایر روش‌های عمل‌آوری دارای مزایایی از جمله عدم تغییر طعم و رنگ خوراک، کاهش قابل توجه عوامل بیماری‌زا و غیره است (طحان و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین در این فرآیند، کاهش کیفیت مواد مغذی بسیار کمتر از سایر روش‌ها است. پرتوتابی قادر به لیگنین‌زدایی، تجزیه پلیمرها و تخریب ساختارهای بلوری سلولز است که این موارد سبب کاهش الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی می‌شود (Ibrahim and Pearce, 2003). پرتوهای ایکس و الکترون‌های با انرژی زیاد، قادر به شکستن پیوندهای موجود در سلولز (بدون نیاز به حضور اکسیژن) هستند. همچنین پرتوها علاوه بر تجزیه سلولز، موجب تورم چوب و الیاف سلولزی شده، به نحوی که خاصیت جذب آب، حل شدن در محلول‌های قلیایی و حساسیت به هیدرولیز اسیدی را، در آن‌ها افزایش می‌دهند (Nursel, 2004; Shawrang, 2008). از پرتو الکترون برای بهبود قابلیت هضم سلولز، واکنش‌پذیری، هیدرولیز یا تغییرات شیمیایی آن استفاده می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که دپلیمریزاسیون سلولز سبب کاهش استحکام الیاف می‌شود. بین کاهش درجه دپلیمریزاسیون و دوز پرتوتابی همبستگی وجود دارد. محققین گزارش کرده‌اند که بین غلظت رادیکال‌های آزاد تولیدی حاصل از پرتوتابی، همبستگی وجود دارد. در دوزهای کمتر، شکستن اتصالات عرضی و در دوزهای بیشتر، تجزیه زنجیره سلولز، موثرتر بوده است (Nursel, 2004).

عمل‌آوری با بخار آب با فشار بالا، ساختار فیزیکی و شیمیایی زیست توده را تغییر می‌دهد. با تغییر ساختار فیزیکی و شیمیایی، یک زیست توده از هم پاشیده و الیاف‌زدایی می‌شود. این تغییرات قابلیت هیدرولیز آنزیمی را افزایش می‌دهد (Muzamal *et al.*, 2015). اما باید توجه داشت که در حین عمل‌آوری، مواد لیگنوسلولزی در دمای بالا ممکن است ترکیبات ضد تغذیه‌ای تولید شود که این مواد، ممانعت کننده فعالیت میکروارگانیسم‌های هوازی و بی‌هوازی هستند. از طرفی، هزینه این نوع عمل‌آوری بالا است و نسبت به هزینه‌ای که می‌شود نتیجه (بهبود ارزش تغذیه‌ای الیاف) قابل قبول نیست. بعلاوه، در روش عمل‌آوری به کمک بخار آب با فشار، برای حصول نتایج مطلوب، انتخاب دما و افزودنی مناسب و توجه به احتمال تولید ترکیبات ضدتغذیه‌ای حائز اهمیت است (Chaji *et al.*, 2010). بخار آب با فشار پایین دارای مزیت‌هایی مانند مصرف کمتر انرژی و مواد شیمیایی و همچنین کاهش تولید مواد ضد تغذیه‌ای است (Castro *et al.*, 1994; Chaji *et al.*, 2010; Bak, 2014).

احتمالاً روش پرتوتابی منجر به تجزیه لیگنین و سلولز و در نتیجه آن، بهبود ارزش تغذیه‌ای مواد الیافی می‌شود (Ibrahim and Pearce, 2003). اما بخار آب دارای تاثیر بیشتر بر همی‌سلولز است و مزاحمت آن برای هضم میکروبی سلولز را رفع می‌کند. از طرفی، بر خلاف پرتودهی، بر خود سلولز یا

لیگنین اثری ندارد (Muzamal *et al*., 2015) و تنها باعث رفع مزاحمت لیگنین و همی‌سلولز برای هضم سلولز می‌شود (Castro *et al*., 1994; Chaji *et al*., 2010; Bak, 2014). لذا این فرضیه شکل گرفت که استفاده توام از آنها به عنوان دو روش عمل‌آوری، شاید به‌صورت افزایشی باعث بهبود ارزش تغذیه‌ای پودر هسته خرما شود. با توجه به فراوانی هسته خرما در کشور به‌ویژه در استان خوزستان و اینکه در زمینه بهبود ارزش تغذیه‌ای آن با روش پرتودهی الکترونی (بیم الکترون) اطلاعاتی در دسترس نیست، آزمایش حاضر طراحی شد تا به این سوال پاسخ دهد که آیا استفاده از پرتو الکترون به تنهایی و یا همراه با بخار آب با فشار پایین می‌تواند سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای و هضم هسته خرما شود یا خیر.

مواد و روش‌ها

آزمایش حاضر در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. هسته‌های خرما از رقم کبکاب و استعمران از شهرستان شادگان تهیه و پس از جمع‌آوری به شرکت خوراک دام اهواز فرستاده شده و با آسیاب چکشی پودر شدند. پرتوتابی الکترونی نمونه‌ها در مرکز پرتو فرآیند یزد، وابسته به پژوهشکده کاربرد پرتوهای سازمان انرژی اتمی ایران، با استفاده از شتاب‌دهنده الکترونی رودوترون (Rhodotron, Model TT-2200, IBA Co., Belgium) انجام شد. نمونه‌ها با پرتو الکترونی ۱۰ مگا الکترون ولت و جریان باریکه الکترونی شش میلی آمپر، در شش سطح با دوزهای صفر (فرآوری نشده)، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگری و با خطای کمتر از پنج درصد پرت وتابی شدند. روش پرتوتابی به‌صورت یک طرفه بود. برای تأمین دوزهای مورد نیاز، نمونه‌های هسته خرما چند بار در معرض پرتوهای الکترونی قرار گرفت. به منظور دقت در دوز ارائه شده به نمونه‌ها، اندازه‌گیری دوز با استفاده از کالری‌متر پلی استراین (دوزیمتر مرجع) صورت گرفت. عمل‌آوری هسته خرما با بخار آب با فشار پایین، با استفاده از اتوکلاو در دو سطح دمایی صفر (فرآوری نشده) و ۱۳۴ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه با فشار ثابت ۱/۳ اتمسفر انجام شد.

ترکیب شیمیایی هسته خرما شامل پروتئین خام (سیستم کجدال، مدل V50 صنایع بخشی، ساخت ایران)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF، Van Soest *et al*., 1991)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)، ماده خشک و خاکستر طبق روش‌های استاندارد (AOAC, 2005) تعیین شدند.

آزمایش تولید گاز: به منظور تعیین تخمیر و هضم نمونه‌های عمل‌آوری شده پودر هسته خرما از تکنیک تولید گاز (Menke and Steingass, 1988) استفاده شد. مایع شکمبه از سه راس گوسفند عربی (قبل از خوراک‌دهی صبح) که با جیره علوفه‌ای تغذیه شده بودند، جمع‌آوری شد و پس از اختلاط به وسیله چهار لایه پارچه نخی صاف شد و در دمای ۳۹ درجه سلسیوس برای آزمایش نگهداری شد. مقدار ۰/۲ گرم نمونه در ویال‌های شیشه‌ای ۱۰۰ میلی‌لیتری با محلول حاوی ۲۰ میلی‌لیتر بافر و ۱۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه (نسبت ۲ به ۱) مخلوط شد و گاز تولیدی در زمان صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت بررسی شد (Menke and Steingass, 1988). داده‌های حاصل از تولید گاز با استفاده از مدل نمایی تغییر یافته (Orskov and McDonald, 1979) به شکل زیر برازش شد و ضرایب تولید گاز به‌دست آمد:

$P = b\ (1 - e^{-ct})$؛ که در این معادله، P، تولید گاز، b، پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر)، c، ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت)، t، مدت زمان انکوباسیون (ساعت) و e برابر با عدد نپر بود. فراسنجه‌های تخمیری شامل عامل جدا کننده، ماده آلی واقعاً تجزیه شده و تولید توده زنده میکروبی محاسبه شدند (Blummel *et al*., 1997).

آزمایش هضم دو مرحله‌ای: برای اندازه‌گیری قابلیت هضم نمونه‌های آزمایشی در این آزمایش، مایع شکمبه مانند آزمایش تولید گاز تهیه شد. مقدار ۰/۵ گرم نمونه درون لوله‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و با ۵۰ میلی‌لیتر محلول شامل ۱۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه و ۴۰ میلی‌لیتر بزاق مصنوعی مخلوط شدند و در بن‌ماری با دمای ۳۹ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند (Tilley and Tirry, 1963). پس از گذشت ۴۸ ساعت، به محیط کشت اسیدی شده با اسید کلریدیک ۲۰ درصد، آنزیم پپسین اضافه شد (۰/۵ گرم آنزیم پپسین ۳۳۰۰ در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال) و لوله‌ها به مدت ۴۸ ساعت دیگر در حمام آب گرم انکوبه شدند. در پایان از اختلاف وزن نمونه اولیه و باقیمانده، قابلیت هضم ماده خشک و NDF اندازه‌گیری شد.

داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار SAS (ویرایش ۹/۲) با آزمایش فاکتوریل ۶×۲ شامل شش دوز پرتو الکترون (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵) و دو سطح بخار آب با فشار پایین (صفر و ۱۳۴ درجه سلسیوس به مدت ۴۰ دقیقه با فشار ثابت ۱/۳ اتمسفر) در قالب طرح کاملاً تصادفی با رویه GLM تجزیه شدند. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح خطای پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

آثار اصلی پرتو الکترون و بخار آب با فشار پایین بر ترکیبات شیمیایی هسته خرما در جدول ۱ نشان داده شده است. مقدار ماده خشک، ماده آلی و خاکستر هسته خرما تحت تاثیر عمل‌آوری با پرتو الکترون قرار نگرفت. پرتودهی با الکترون منجر به کاهش درصد NDF و ADF شد ($P<۰/۰۵$). درصد NDF و ADF فقط برای دوزهای ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگری به‌طور معنی‌داری کمتر از گروه شاهد بود و تیمار ۱۰۰ کیلوگری نسبت به بقیه تیمارها کمترین درصد NDF و ADF را داشت ($P<۰/۰۵$). عمل‌آوری به وسیله بخار آب با فشار پایین باعث کاهش درصد ماده خشک، ماده آلی، NDF، ADF و افزایش خاکستر هسته خرما شد ($P<۰/۰۵$).

آثار متقابل پرتو الکترون و بخار آب با فشار پایین بر ماده خشک، ماده آلی، NDF، ADF و خاکستر هسته خرما معنی‌دار بود (جدول ۲). برای تمام دوزهای پرتودهی، عمل‌آوری با بخار آب سبب کاهش معنی‌دار درصد ماده خشک و ماده آلی، NDF و ADF شد ($P<۰/۰۵$). کمترین درصد ماده خشک مربوط به هسته خرمای بخاردهی شده و عمل‌آوری شده با تیمار ۷۵ و یا ۱۰۰ کیلوگری پرتو الکترون بود. تیمار هسته خرمای عمل‌آوری شده با ۱۰۰ کیلوگری بدون بخاردهی، کمترین مقدار NDF و ADF را داشت.

عدم تاثیر پرتو الکترون بر درصد ماده خشک مواد الیافی نظیر کاه گندم (Shawrang, 2008)، بقایای ماش (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵)، باگاس نیشکر (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۱)، ساقه آتریپلکس (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۲) و کاه جو (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۴) در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است. پرتوتابی با الکترون تاثیری بر خاکستر و ماده آلی بقایای ماش (بابایی و همکاران، ۱۳۹۵) یا پروتئین خام و خاکستر کاه گندم (Shawrang, 2008) نداشت. در پژوهش حاضر، از آن‌جا که با پرتوتابی هسته خرما در دوزهای پایین‌تر از ۱۰۰ کیلوگری، NDF به‌طور معنی‌داری کاهش یافت، اما ADF تحت تاثیر قرار نگرفت، می‌توان دریافت که احتمالاً پرتوتابی با دوزهای کمتر از ۱۰۰ کیلوگری به میزان بیشتری بر همی‌سلولز اثر گذاشته است. پرتوتابی گاما و الکترون (۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگری) با تجزیه همی‌سلولز و لیگنین‌زدایی و تغییر ساختار لیگنین مواد الیافی منجر به کاهش مقدار الیاف می‌شود (Al-Masri, 2005). پرتوتابی الکترونی باعث کاهش سلولز بلورین، حذف کامل همی‌سلولز و کاهش مقاومت لیگنین می‌شود (Nursel, 2004; Shawrang, 2008; Bak, 2014). پرتوتابی الکترونی با تولید یون‌ها و رادیکال‌های آزاد، سبب شروع واکنش‌های زیستی در دمای محیط و فشار معمولی اتمسفر به ویژه جداسازی پیوندهای هیدروژنی در ساختمان سلولز و شکستن پیوندها بین سلولز و سایر ترکیبات می‌شود (Nursel, 2004; Bak, 2014). از آنجایی که NDF شامل پکتین، کوتین، همی‌سلولز و سلولز است، بنابراین کم شدن این بخش در اثر پرتوتابی با الکترون، احتمالاً به دلیل حل شدن سلولز و همچنین حل شدن بخش بیشتری از همی‌سلولز است (Nursel, 2004; Shawrang, 2008; Bak, 2014). عمل‌آوری مواد الیافی (باگاس نیشکر، ساقه آتریپلکس و کاه جو) با پرتو الکترون (۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگری) منجر به کاهش NDF و ADF شده است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۴؛ Shawrang, 2008)، که البته کاهش NDF بیشتر بود.

در تایید نتایج این آزمایش، سایر محققین نیز کاهش در ماده خشک، NDF، ADF و افزایش در مقدار خاکستر را با اعمال بخار آب با فشار گزارش کرده‌اند (چاجی و همکاران، ۱۳۸۶). علت کاهش مواد مغذی به تجزیه تمام یا بخشی از همی‌سلولز نسبت داده شده است (Liu *et al.*, 1999; Liu and Orskov, 2000; Chaji *et al.*, 2010). محققین دیگر نیز کاهش معنی‌دار دیواره سلولی (NDF یا ADF) سرشاخه خرما (Zahedifar *et al.*, 2014)، باگاس نیشکر (چاجی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Chaji *et al.*, 2010; Karp *et al.*, 2013) و کاه برنج (Liu *et al.*, 1999) را بر اثر عمل‌آوری به وسیله بخار آب با فشار گزارش کرده‌اند.

جدول ۱- آثار اصلی عمل‌آوری با پرتو الکترون و بخار آب با فشار پایین بر ترکیب شیمیایی هسته خرما (درصد ماده خشک)

Table 1. The main effects of electron beam and low-pressure steam treatment on the chemical composition of date kernel (% of DM)

Electron beam (kGy)	Steam (Atm.)	DM	OM	NDF	ADF	Ash
0	-	94.58	96.21	64.99^{a}	45.58^{a}	3.78
25	-	94.57	96.42	65.54^{a}	44.22^{ab}	3.69
50	-	94.62	95.50	65.79^{a}	45.61^{ab}	4.50
75	-	93.96	96.37	65.19^{a}	45.25^{ab}	3.63
100	-	94.06	96.48	60.44^{c}	42.32^{c}	3.48
125	-	94.62	96.64	62.47^{b}	44.81^{b}	3.35
SEM		0.22	0.22	0.37	0.78	0.22
P-value		0.32	0.71	0.0001	0.004	0.71
-	0	95.39^{a}	97.33^{a}	65.77^{a}	44.29	2.70^{a}
-	1	93.40^{b}	95.21^{b}	62.37^{b}	44.98	4.78^{b}
SEM		0.25	0.46	0.36	0.46	0.14
P-value		0.054	0.037	0.007	0.015	0.012

DM: Dry matter, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber, OM: Organic matter.
Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
$^{a-c}$ Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

جدول ۲- آثار متقابل عمل‌آوری با پرتو الکترون و بخار آب با فشار پایین بر ترکیب شیمیایی هسته خرما (درصد ماده خشک)

Table 2. The interaction effects of electron beam and low-pressure steam treatment on chemical composition of date kernel (% of DM)

Electron beam (KGy)	Steam (Atm.)	DM	OM	NDF	ADF	Ash
0	0	95.45^{a}	97.11^{a}	67.42^{a}	47.13^{a}	2.88^{c}
25	0	95.76^{a}	97.54^{a}	65.52^{b}	44.40^{c}	2.69^{c}
50	0	95.43^{a}	97.31^{a}	64.80^{b}	45.82^{b}	2.69^{c}
75	0	95.13^{a}	97.17^{a}	64.02^{b}	45.23b^{c}	2.83^{c}
100	0	95.04^{a}	97.38^{a}	54.48^{e}	39.28^{e}	2.61^{c}
125	0	95.56^{a}	97.50^{a}	58.01^{d}	43.88^{d}	2.50^{c}
0	1	93.71^{b}	95.31^{b}	62.57^{c}	44.04^{cd}	4.69^{b}
25	1	93.71^{b}	95.31^{b}	65.57^{b}	44.04^{cd}	4.69^{b}
50	1	93.82^{b}	93.69^{c}	66.79^{b}	45.41^{b}	6.31^{a}
75	1	92.80^{c}	95.58^{b}	66.37^{b}	45.27^{b}	4.43^{b}
100	1	93.08^{bc}	95.59^{b}	66.40^{b}	45.37^{b}	4.35^{b}
125	1	93.68^{b}	95.79^{b}	66.93^{b}	45.75^{b}	4.21^{b}
SEM		0.40	0.31	0.64	0.51	0.15
P-value		0.0001	0.0001	0.037	0.0001	0.0001

DM: Dry matter, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber, OM: Organic matter.
Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
$^{a-e}$ Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

از طرفی، عمل‌آوری پیت نیشکر با بخار آب با فشار بالا، NDF را به‌طور معنی‌داری کاهش داد، اما بر ADF تاثیر معنی‌داری نداشت (چاجی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Chaji *et al.*, 2010).

آثار اصلی عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب با فشار پایین بر فرآسنجه‌های هضمی و تخمیری پودر هسته خرما به روش تولید گاز در جدول ۳ نشان داده شده است. عمل‌آوری هسته خرما با پرتو الکترون منجر به افزایش معنی‌دار پتانسیل و نرخ تولید گاز، عامل تفکیک و ماده آلی واقعاً تجزیه شده شد، به‌طوری که بیشترین مقدار برای تمام این فراسنجه‌ها مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگری بود (P<۰/۰۵). البته بین سطوح مختلف پرتو الکترونی نیز تیمار ۱۰۰ کیلوگری بهترین نتایج را نشان داد (P<۰/۰۵). عمل‌آوری هسته خرما با بخار آب تاثیر

معنی‌داری بر فراسنجه‌های مورد مطالعه شامل پتانسیل و نرخ تولید گاز، عامل تفکیک، ماده آلی واقعاً تجزیه شده و بازده تولید توده زنده میکروبی نداشت.

در مقایسه با گروه شاهد (پودر هسته خرما با پرتوی الکترون یا بخار آب عمل‌آوری نشده بود)، اثر استفاده هم‌زمان (اثر متقابل) پرتوی الکترون و بخار آب (جدول ۴) بر تمام فراسنجه‌های هضمی و تخمیری پودر هسته خرما (به استثنای بازده تولید توده زنده میکروبی) که با روش تولید گاز اندازه‌گیری شده بود معنی‌دار بود ($P<۰/۰۵$). بالاترین پتانسیل و نرخ تولید گاز، عامل تفکیک و ماده آلی واقعاً تجزیه شده مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگری بدون تیمار بخار بود. عمل‌آوری هسته‌های خرمای پرتودهی شده با بخار آب در مقایسه با گروه شاهد، منجر به افزایش معنی‌دار و یا غیر معنی‌دار همه فراسنجه‌های تولید گاز شد. اما مقایسه بین تیمارهای عمل‌آوری شده نشان داد که بخاردهی هسته‌های خرمای پرتودهی شده، تاثیری بر فراسنجه‌های تولید گاز نداشت و حتی مواردی نظیر سطوح ۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگری، آنها را کاهش داد ($P<۰/۰۵$).

حجم گاز تولیدی وابسته به ترکیب شیمیایی ماده خوراکی است. با کاهش NDF، ADF و لیگنین، تخمیر بیشتر شده و تولید گاز افزایش می‌یابد (Melaku *et al.*, 2003; Chaji *et al.*, 2010; Zahedifar *et al.*, 2014; Maccarana *et al.*, 2016)، که این ممکن است در نتیجه افزایش فعالیت میکروارگانسیم‌ها به دلیل دریافت منابع کربوهیدرات محلول باشد. بنابراین افزایش تولید گاز در هسته خرمای عمل‌آوری شده با پرتو و بخار آب به کاهش محتوای الیاف آن (جداول ۱ و ۲) نسبت داده می‌شود (Melaku *et al.*, 2003).

پرتودهی به عنوان روشی برای بهبود ارزش تغذیه‌ای خوراک شناخته شده است و می‌تواند باعث لیگنین‌زدایی، فروپاشی و دپلیمریزه شدن ساختارهای بلوری سلولز شود (Nursel, 2004; Shawrang, 2008; Bak, 2014). پرتوتابی با تولید یون‌ها و رادیکال‌های آزاد سبب دپلیمریزه شدن ترکیبات پیچیده به ویژه جداسازی پیوندهای بین سلولز و سایر ترکیبات دیواره سلولی می‌شود (اسدنژاد و همکاران، ۱۳۹۷؛ Bak *et al.*, 2009; Bak, 2014). پرتودهی پوسته پسته (Behgar *et al.*, 2011) با اشعه گاما (دوزهای صفر تا ۱۵۰ کیلوگری،) فراسنجه‌های تولید گاز را افزایش داد و بیشترین حجم گاز تولیدی، قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل سوخت و ساز در بالاترین دوز مشاهده شد. از طرفی در آزمایشی، پرتوتابی با سطوح پایین اشعه گاما (۲۰ تا ۶۰ کیلوگری) هیچ تاثیر معنی‌داری بر گوارش‌پذیری مواد آلی و انرژی قابل سوخت و ساز کاه گندم، پوسته تخم آفتابگردان، هسته خرما و پوسته بادام زمینی نداشت که می‌تواند به دلیل سطوح کم پرتوتابی باشد که قدرت کافی برای شکستن مواد لیگنوسلولزی را نداشته است. بنابراین، احتمالاً افزایش در حجم و نرخ گاز تولیدی هسته خرما عمل‌آوری شده با پرتوتابی با الکترون (۱۰۰ و ۱۲۵ کیلوگری) در آزمایش حاضر را می‌توان ناشی از کاهش دیواره سلولی، افزایش قابلیت هضم، غیرفعال شدن ترکیبات فنولی و دسترسی بیشتر جمعیت میکروبی شکمبه به مواد مغذی و نیز کاهش آثار منفی تانن‌های متراکم بر جمعیت میکروبی دانست (اسدنژاد و همکاران، ۱۳۹۷).

عمل‌آوری پیت خام نیشکر به وسیله بخار آب با فشار بالا (دمای ۲۱۰ تا ۲۲۰ درجه سیلسیوس، ۱۹ بار فشار به مدت سه دقیقه با رطوبت ۷۰ درصد) سبب افزایش هضم‌پذیری و ضرایب تولید گاز شد (محمدآبادی و همکاران، ۱۳۹۱). عمل‌آوری پیت نیشکر به وسیله بخار آب با فشار پایین (دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۲۰ دقیقه) همراه اسید سولفوریک (۱۸ گرم در کیلوگرم ماده خشک) نیز منجر به افزایش معنی‌دار ضرایب تولید گاز شد (Chaji *et al.*, 2011).

آثار اصلی (جدول ۵) و متقابل (جدول ۶) عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب بر قابلیت هضم مواد مغذی هسته خرما معنی‌دار شد. عمل‌آوری هسته خرما با بخار اثر معنی‌داری بر قابلیت هضم ماده خشک، NDF و ADF نداشت. در مقایسه با گروه شاهد، پرتودهی هسته خرما با الکترون منجر به افزایش معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک، NDF و ADF شد ($P<۰/۰۵$). قابلیت هضم NDF تا سطح ۵۰ کیلوگری و ADF تا سطح ۷۵ کیلوگری به طور عددی بیشتر از گروه شاهد بود، اما تفاوت با شاهد برای سایر سطوح، معنی‌دار بود، به‌طوری که بیشترین درصد قابلیت هضم مواد مغذی هسته خرما در تیمار ۱۰۰ کیلوگری مشاهده شد.

بخاردهی هسته خرمای پرتوتابی شده با الکترون (اثر متقابل پرتو و بخار آب) نسبت به گروه شاهد منجر به افزایش قابلیت هضم ماده خشک، NDF و ADF شد، اما تا سطح ۷۵

کیلوگری، افزایش عددی بود و بیشترین قابلیت هضم مربوط به تیمار ۱۰۰ کیلوگری بدون بخار بود (P<۰/۰۵). تفاوت این تیمار با دوزهای ۱۰۰ کیلوگری (بخاردهی شده) و ۱۲۵ کیلوگری (بخاردهی نشده و بخاردهی شده) معنی‌دار نبود. برای هر کدام از سطوح پرتودهی، عمل‌آوری با بخار تفاوتی در قابلیت هضم مواد مغذی نسبت به همان دوز بدون بخاردهی ایجاد نکرد.

جدول ۳- آثار اصلی عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب با فشار پایین بر فراسنجه‌های هضم و تخمیر هسته خرما با روش تولید گاز

Table 3. The main effects of electron beam and low-pressure steam treatment on digestion and fermentation parameters of date kernel by *in vitro* gas production technique

Electron beam (KGy)	Steam (Atm.)	b (mL)	c (mL/h)	PF (mg/mL)	Microbial biomass efficiency	Truly degradable organic matter (mg)
0	-	150.89^{b}	0.01^{d}	10.59^{b}	0.78	57.25^{c}
25	-	133.11^{b}	0.02^{c}	10.35^{b}	0.78	55.28^{c}
50	-	134.27^{b}	0.02^{c}	10.75^{b}	0.79	54.34^{c}
75	-	133.01^{b}	0.02^{c}	10.03^{b}	0.78	54.84^{c}
100	-	193.71^{a}	0.04^{a}	12.00^{a}	0.81	66.82^{a}
125	-	176.66^{a}	0.03^{b}	10.21^{b}	0.77	60.00^{b}
SEM	-	9.22	0.004	0.58	0.24	1.25
P-value		0.034	0.0001	0.004	0.711	0.013
-	0	158.36	0.02	10.94	0.79	58.82
-	1	148.52	0.02	10.38	0.78	57.36
SEM		4.92	0.006	0.456	0.461	0.84
P-value		0.045	0.007	0.015	0.037	0.012

Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
[a-d] Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

جدول ۴- آثار متقابل عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب با فشار پایین بر فراسنجه‌های هضم و تخمیر هسته خرما با روش تولید گاز

Table 4. The interaction effects of electron beam and low-pressure steam treatment on digestion and fermentation parameters of date kernel by *in vitro* gas production technique

Electron beam (KGy)	Steam (Atm.)	b (mL)	c (mL/h)	PF (mg/mL)	Microbial biomass efficiency	Truly degradable organic matter (mg)
0	0	125.16^{e}	0.01^{d}	9.92^{bcd}	0.77	52.82^{c}
25	0	137.88^{e}	0.02^{c}	10.85^{abc}	0.80	54.40^{c}
50	0	136.54^{e}	0.02^{c}	10.76^{abc}	0.79	54.45^{c}
75	0	132.48^{e}	0.02^{c}	10.03^{bcd}	0.78	54.48^{c}
100	0	221.31^{a}	0.03^{a}	12.31^{a}	0.81	71.00^{a}
125	0	198.80^{b}	0.03^{b}	11.77^{ab}	0.81	65.76^{b}
0	1	176.63^{c}	0.02^{c}	11.26^{abc}	0.80	61.68^{b}
25	1	128.34^{e}	0.02^{c}	9.85^{bcd}	0.77	56.16^{c}
50	1	132.00^{e}	0.02^{c}	10.75^{abc}	0.79	54.24^{c}
75	1	133.55^{e}	0.02^{c}	10.04^{bcd}	0.78	55.20^{c}
100	1	166.11^{cd}	0.02^{c}	11.70^{ab}	0.81	62.64^{b}
125	1	154.52^{d}	0.02^{c}	8.66^{cd}	0.74	54.24^{c}
SEM		7.25	0.002	0.85	0.087	1.29
P-value		0.0001	0.0001	0.0001	0.0904	0.0001

Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
[a-e] Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

جدول ۵- آثار اصلی عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب با فشار پایین بر قابلیت هضم آزمایشگاهی مواد مغذی هسته خرما (درصد)

Table 5. The main effects of electron beam and low-pressure steam treatment on *in vitro* digestibility of nutrients in date kernel (%)

Electron beam (KGy)	Steam (Atm.)	DM	NDF	ADF
0	0	51.68^{d}	34.81^{c}	31.80^{b}
25	0	54.82^{c}	35.49^{c}	33.79^{b}
50	0	54.78^{c}	35.57^{c}	32.52^{b}
75	0	56.19^{c}	37.97^{b}	33.46^{b}
100	0	66.82^{a}	45.53^{a}	40.15^{a}
125	0	63.35^{b}	39.74^{b}	37.08^{a}
SEM		0.81	1.09	1.59
P-value		0.0001	0.0001	0.018
0	0	58.92	38.70	34.68
0	1	56.96	37.68	34.92
SEM		1.70	1.95	1.33
P-value		0.345	0.547	0.476

DM: Dry matter, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber.
Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
[a-d] Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

جدول ۶- آثار متقابل عمل‌آوری با پرتو الکترونی و بخار آب با فشار پایین بر قابلیت هضم آزمایشگاهی مواد مغذی هسته خرما (درصد)

Table 6. The interaction effects of electron beam and low-pressure steam treatment on *in vitro* digestibility of nutrients in date kernel (%)

Electron beam (KGy)	Steam (Atm.)	DM	NDF	ADF
0	0	51.76^{c}	34.08^{c}	31.10^{b}
25	0	55.60^{bc}	35.47^{bc}	33.35^{b}
50	0	55.99^{bc}	36.15^{b}	33.01^{b}
75	0	57.38^{bc}	39.75^{b}	33.76^{b}
100	0	68.30^{a}	46.25^{a}	40.38^{a}
125	0	64.50^{a}	40.48^{ab}	36.47^{a}
0	1	51.60^{c}	35.54^{bc}	32.50^{b}
25	1	54.05^{bc}	35.51^{bc}	34.24^{b}
50	1	53.58^{bc}	34.99^{bc}	32.04^{b}
75	1	55.00^{bc}	36.20^{bc}	33.17^{b}
100	1	65.35^{a}	44.81^{a}	39.92^{a}
125	1	62.20^{a}	39.01^{ab}	37.69^{a}
SEM		1.31	1.76	2.23
P-value		0.0001	0.0001	0.015

DM: Dry matter, NDF: Neutral detergent fiber, ADF: Acid detergent fiber.
Steam treatment: 134 °C, 1.3 atm, 40 min.
[a-c] Means within the same column with different superscript letters differ significantly (P<0.05).
SEM: Standard error of the means

افزایش گوارش‌پذیری ماده خشک در شرایط درون آزمایشگاهی بقایای چوبی در اثر پرتوتابی الکترونی به لیگنین‌زدایی و تبدیل بخش‌های سلولزی و همی‌سلولزی به قند ارتباط داده شده است (Nursel, 2004; Shawrang, 2008; Bak *et al.*, 2009; Bak, 2014). کاهش NDF و ADF و لیگنین و افزایش گوارش‌پذیری ماده خشک کاه برنج در اثر پرتوتابی الکترونی نیز گزارش شده است (Bak *et al.*, 2009). پرتوتابی سلولز با پرتو الکترون منجر به تغییراتی در ساختمان آن می‌شود. این بهبود ممکن است ناشی از چندین عامل از جمله شکستن پیوند (بتا ۱ به ۴) گلیکوزیدی باشد (Bak,

2014). پرتوتابی با پرتو الکترون در دوزهای پایین‌تر از ۱۰۰ کیلوگری، طول زنجیره سلولز را به اندازه‌ای کوتاه می‌کند که باعث افزایش تجزیه میکروبی می‌شود (Nursel, 2004; Shawrang, 2008; Bak *et al*., 2009; Bak, 2014). پرتوتابی الکترون با دوزهای ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگری باعث افزایش معنی‌دار قابلیت هضم ماده خشک در شرایط آزمایشگاهی شد که با افزایش پتانسیل تولید گاز همبستگی مثبتی داشت (اسدنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). عمل‌آوری باگاس نیشکر با دوزهای مختلف (۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگری)، تجزیه‌پذیری موثر NDF و ADF را به طور خطی افزایش داد (Shahbazi *et al*., 2008).

نتیجه‌گیری کلی

عمل‌آوری هسته خرما به وسیله بخار آب با فشار پایین یا پرتو الکترون (به ویژه دوز ۱۰۰ کیلوگری) به تنهایی (اثر اصلی آنها) سبب بهبود ترکیب شیمیایی و فراسنجه‌های هضمی و تخمیری آن شد، اما عمل‌آوری با بخار بعد از پرتودهی (اثر متقابل) به‌جز مواردی مربوط به دوزهای بالاتر از ۷۵ کیلوگری، تاثیر افزایشی در حد قابل انتظار نداشت. در آزمایش حاضر، ابتدا هسته‌های خرما پرتودهی و سپس با بخار آب عمل‌آوری شده بودند؛ از این‌رو، نتایج آزمایش حاضر به این موضوع اشاره دارد که عمل‌آوری با بخار آب پس از عمل‌آوری با پرتو الکترون تاثیر مثبت قابل توجهی بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تخمیری و هضمی نداشته است. احتمالاً پرتودهی به تنهایی بخش زیادی از ظرفیت ممکن برای کاهش دیواره سلولی (نظیر NDF و ADF) هسته خرما و در نتیجه بهبود قابلیت هضم مواد مغذی آن را به خود اختصاص داده است، لذا استفاده از بخار آب پس از پرتودهی نتوانسته است تغییر زیادتری در بهبود هضم داشته باشد. در مجموع، بهترین تیمار برای پرتودهی هسته خرما با الکترون، دوز ۱۰۰ کیلوگری بود. شاید بهتر باشد آزمایشی با تغییر ترتیب عمل‌آوری نیز انجام شود.

تشکر و قدردانی

از مسئولین محترم دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان برای فراهم آوردن زمینه انجام پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

فهرست منابع

اسدنژاد ب.، پیرمحمدی ر.، و خلیلوندی بهروزیار، ح. ۱۳۹۷. ارزیابی اثر پرتوتابی الکترون بر ارزش تغذیه‌ای تفاله انگور قرمز در تغذیه نشخوارکنندگان با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و تکنیک کیسه‌های نایلونی. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۶: ۳۱-۴۸.

بابایی م.، قنبری ف.، قره باش آ. م.، و بیات کوهسار ج. ۱۳۹۵. اثر عمل‌آوری با پرتو الکترونی، پراکسید هیدروژن و اسید هیدروبرمیک بر ارزش تغذیه‌ای بقایای ماش. پژوهش‌های علوم دامی ایران، ۸: ۴۴۱-۴۵۴.

چاجی م.، ناصریان ع. ع.، ولی زاده ر.، و افتخاری شاهرودی ف. ۱۳۸۶. اثر بخار آب تحت فشار بر ترکیب شیمیایی، تجزیه پذیری شکمبه ای، پیت نیشکر و عملکرد پیت عمل‌آوری شده با بخار آب تحت فشار در تغذیه بزهای سانن شیرده. علوم و صنایع کشاورزی، ۲۰: ۲۹۱-۳۰۴.

چاجی م.، ناصریان ع. ع.، ولی‌زاده ر.، و محمدآبادی ط. ۱۳۹۱. مطالعه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پیت نیشکر عمل‌آوری شده با بخار آب و تعدادی از مواد الیافی و نقش آنها در تغذیه نشخوارکنندگان. پژوهشهای علوم دامی ایران، ۴: ۲۹۸-۳۰۹.

خنیفر ح.، و چاجی م. ۱۳۹۹. تاثیر تغذیه پودر هسته خرمای عمل‌آوری شده با پراکسید هیدروژن قلیایی بر قابلیت هضم و عملکرد بره‌های پرواری. تحقیقات تولیدات دامی، ۹(۴): ۵۷-۶۹.

طباطبائی ن.، فتحی نسری م. ح.، فرهنگ‌فر ه.، و ریاسی ا. ۱۳۹۱. اثر بیم الکترونی بر ترکیب شیمیایی، فراسنجه‌های تجزیه پذیری و گوارش پذیری شکمبه‌ای و پس از شکمبه‌ای باگاس نیشکر. تحقیقات دام و طیور، ۳: ۵۳-۶۲.

طباطبائی ن.، فتحی نسری م. ح.، فرهنگ‌فر ه.، و ریاسی ا. ۱۳۹۲. اثر پرتوتابی الکترونی بر ارزش غذایی ساقه‌ی آتریپلکس. تحقیقات دام و طیور، ۲: ۱۹-۲۸.

طباطبائی ن.، فتحی نسری م. ح.، فرهنگ‌فر ه.، و ریاسی ا. ۱۳۹۴. تعیین ارزش غذایی کاه جو پرتوتابی شده با بیم الکترونی. تحقیقات دام و طیور، ۴: ۹-۱۷.

طحان ق.، فتحی نسری م. ح.، ریاسی ا.، بهگر م.، و فرهنگ‌فر ه. ۱۳۹۲. اثر پرتوتابی الکترونی بر فراسنجه های تجزیه پذیری و قابلیت هضم شکمبه ای و پس از شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام برخی منابع پروتئینی گیاهی. پژوهشهای علوم دامی ایران، ۳: ۴۲۲-۴۳۴.

محمدآبادی ط.، چاجی م.، و بوجارپور م. ۱۳۹۱. اثر عمل‌آوری پیت خام نیشکر با فشار بخار بر فراسنجه‌های تولید گاز با استفاده از میکروارگانیسم‌های جداسازی شده شکمبه. پژوهشهای علوم دامی ایران، ۴: ۲۴۰-۲۴۶.

Al-Masri M. R. 2005. Nutritive value of some agricultural waste, as affected by relatively low gamma irradiation levels and chemical treatment. Journal of Bioresearch Technology, 96: 1737-1741.

AOAC. 2005. *Official methods of analysis* (18th ed.). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.

Bak J. S., Ko J. K., Han Y. H., Lee B. C., Choi I. G. and Kim K. H. 2009. Improved enzymatic hydrolysis yield of rice straw using electron beam irradiation pretreatment. Bioresource Technology, 100: 1285-1290.

Bak J. S. 2014. Electron beam irradiation enhances the digestibility and fermentation yield of water-soaked lignocellulosic biomass. Biotechnology Reports, 4: 30-33.

Behgar M., Ghasemi S., Naserian A., Borzoie A. and Fatollahi H. 2011. Gamma radiation effects on phenolics antioxidants activity and *in vitro* digestion of pistachio (*Pistachio vera*) hull. Radiation Physics and Chemistry, 80(9): 963-967.

Blummel M., Steinggab H. and Becker K. 1997. The relationship between in vitro gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for prediction of voluntary feed intake of roughages. British Journal of Nutrition, 77: 911-921.

Castro F. B., Hotten P. M. and Orskov E. R. 1994. Inhibition of rumen microbes by compounds formed in the steam treatment of wheat straw. Bioresource Technology, 50: 25-30.

Chaji M., Naserian A. A., Valizadeh R., Mohammadabadi T. and Mirzadeh Kh. 2010. Potential use of high-temperature and low temperature steam treatment, sodium hydroxide and an enzyme mixture for improving the nutritional value of sugarcane pith. South African Journal of Animal Science, 40: 22-31.

Chaji M., Mohammadabadi T. and Aghaei A. 2011. Fermenting cell walls of processed sugarcane pith by ruminal bacteria, protozoa and fungi. International Journal of Agriculture and Biology, 13: 283-286.

Devshony S., Eteshola E. and Shani A. 1992. Characterisation and some potential application of dates palm seeds and oil. Journal of the American Oil Chemists Society, 69: 595-597.

Ibrahim M. N. M. and Pearce G. R. 2003. Effects of gamma irradiation on the composition and *in vitro* digestibility of crop by-products. Agricultural Wastes, 24: 253-259.

Karp S. G., Adenise Lorenci Woiciechowski A. L., Soccol V. T. and Soccol C. R. 2013. Pretreatment strategies for delignification of sugarcane bagasse: A Review. Brazilian Archives of Biology and Technology, 56: 679-689.

Liu J. X., Orskov E. R. and Chen X. B. 1999. Optimization of steam as method for upgrading rice straw as feeds. Animal Feed Science and Technology, 76: 345-357.

Liu J. X. and Orskov E. R. 2000. Cellulase treatment of untreated and steam pre-treated rice straw effect on *in vitro* fermentation characteristic. Animal Feed Science and Technology, 88: 189-200.

Maccarana L., Mirko Cattani M., Tagliapietra F., Bailoni L. and Schiavon F. 2016. Influence of main dietary chemical constituents on the *in vitro* gas and methane production in diets for dairy cows. Journal of Animal Science and Biotechnology, 54: 1-8.

Melaku S., Peters K. J. and Tegegne A. 2003. *In vitro* and *in situ* evaluation of selected multipurpose trees, wheat bran and Lablab purpureus as potential feed supplements of tef (Eragrostistef) straw. Animal Feed Science and Technology, 108: 159-179.

Menke K. H. and Steingass H. 1988. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. Journal of Animal Research and Development, 28: 7-55.

Muzamal M., Jedvert K., Theliander H. and Rasmuson A. 2015. Structural changes in spruce wood during different steps of steam explosion pretreatment. Holzforschung, 69: 61-66.

Nursel P. 2004. Radiation crosslinking of biodegradable hydroxypropylmethylcellulose. Carbohydrate Polymers, 55: 139-147.

Orskov E. R. and McDonald I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Food Engineering, 80: 1-10.

Shahbazi H. R., Sadeghi 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. Journal of Animal and Veterinary Advances, 7: 464-468.

Shawrang P. 2008. Effects of electron beam irradiation on dry matter degradation of wheat straw in the rumen. Pakistan Journal of Biological Science, 11: 676-679.

Taghinejad M., Shawrang P., Rezapour A., Sadeghi A. and Ebrahimi S. 2009. Changes in anti-nutritional factors, ruminal degradability and in vitro protein digestibility of gamma irradiated Canola meal. Journal of Animal and Veterinary Advances, 8: 1298-1304.

Tilley J. M. A. and Terry R. A. 1963. A two stage technique for the digestion of forage crops. Journal of the British Grassland Society, 18: 104-111.

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

Animal Production Research

Vol. 10, No. 2, 2021 (51-62)

University of Guilan

Research paper

Influence of electron beam and low-pressure steam on the improvement of the nutritional value of date kernel powder for ruminants

M. Chaji[1*], H. Khenifer[2]

1. Professor, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Khuzestan, Mollasani, Ahvaz, Iran
2. Former MSc Student of Animal Nutrition, Department of Animal Science, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources, University of Khuzestan, Mollasani, Ahvaz, Iran

(Received: 29-06-2020 – Accepted: 08-09-2020)

Abstract

The present experiment was conducted to investigate the effect of the electron beam (beam) and low-pressure steam (steam) treatments on the nutritional value of date kernel powder for ruminants. At first, date kernel powders were irradiated with the beam at doses of 0, 25, 50, 75, 100, and 125 KGy. A part of the irradiated date kernels was then treated with steam (134 °C, 40 min.). Digestion and fermentation of date kernel powder were measured using gas production and two-step digestion techniques. Compared to the control, beam or steam resulted in a decrease in NDF and ADF percentages (P<0.05), a significant increase in potential and rate of gas production, partitioning factor, truly degradable organic matter, and *in vitro* digestibility of dry matter, NDF, and ADF of date kernel (P<0.05), and the 100 KGy had the best performance (P<0.05). Overall, the treatment with steam or electron beam alone improved the nutritional value of the date kernel, but treatment with steam after beam did not have a positive additive effect. Therefore, the results of the present experiment indicate that beam alone has a great capacity for improving the nutritional value of the date kernel, and the use of steam after the beam has failed to make more improvement.

Keywords: Electron beam, Date kernel powder, Chemical composition, Fermentability, Digestibility

[*]Corresponding author: chaji@asnrukh.ac.ir

doi: 10.22124/AR.2021.16944.1539