
The effects of electron beam on the parameters of degradability, particle size distribution, and relative abundance of fibrolytic bacteria in wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse in ruminant nutrition

Mohsen Hajipour^{1*}, Parvin Shawrang²

¹ Assistant Professor, Department of Animal Science, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran;
Email: m.hajipour@qaemiau.ac.ir

² Associate Professor, Nuclear Agriculture Research Institute, Nuclear Science and Technology Research Institute of Iran Atomic Energy Organization, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05/31/2023
Revised: 10/11/2024
Accepted: 10/12/2024

Keywords:
Degradability
Electron irradiation
Fibrolytic bacteria
Crude fibers

ABSTRACT

Background and Objectives: Fiber materials often have little digestibility due to the presence of cell wall compounds (cellulose, hemicellulose, and lignin) and this problem is the reason for longer retention of edible materials in the rumen, reducing feed consumption, digestibility and production in ruminants. For this reason, studies have sought to find a way to increase the digestibility and degradability of fiber materials in the rumen. In the last few decades, the use of electron beam irradiation in animal nutrition studies has received attention. In various studies, it has been proven to improve degradability parameters and increase the attachment of bacteria to fiber particles of materials due to the use of electron beam methods. Conducting this research, a new horizon of the application of this industry in animal nutrition study, can be a starting point for further research in this field. Therefore, this study aimed to investigate the effects of electron beam on the parameters of degradability, particle size distribution, and relative abundance of fibrolytic bacteria in wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse in ruminant nutrition.

Materials and Methods: In this study, feed samples including wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse were irradiated with three different doses of 0, 250, and 500 kGy. To perform this study, 3 fistulad Shall breed sheep with a mean weight of about 59 kg and a mean age of about 12 months were used to determine the parameters of decomposition. For each sample at any given time, four bags (replicates) were prepared and placed in the rumen of at least two fistula sheep for 4, 8, 12, 24, 36, 48, 72, and 96 hours. The sheep were housed in a covered and semi-open place, inside a metabolic cage with a ration slightly more than the maintenance level. To investigate the effects of electron beam irradiation on particle size, particle size distribution was determined using particle separator sieves. For this purpose, the Pennsylvania system with 3 sieves with pore diameters of 19, 8, and 1.18 mm was used. Nylon bag technique and two molecular and isotopic methods were used to determine the adhesion of rumen bacteria to wood particles. To observe the condition of the cell wall of materials, scanning electron microscope was used. For this purpose, each feed sample was photographed with three different doses (0, 250, and 500 kGy) and with X800 magnification.

Results: The results of the effect of electron radiation on the degradability parameters of acid detergent fiber (ADF) of wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse showed that there is a significant difference between the experimental treatments in the sections of rapidly degradable fraction, slowly degradable fraction, constant rate of degradation, and effective degradability with different outflow rates ($P<0.05$). Irradiation in wheat straw at levels of 250 and 500 kGy, compared to the control group, caused a significant increase in the rapidly degradable fraction (5.09 vs. 1.42%), constant rate of degradation (4.50 vs. 3.10%) and effective degradability with outflow rates of 0.02 (25.45 vs.14.30%), 0.05 (19.02 vs.9.53%), and 0.08 (15.67 vs.7.34%) ($P<0.05$). Irradiation in barley straw at the levels of 250 and 500 kGy compared to the control group, caused a significant increase in the rapidly degradable fraction (6.45 vs. 2.45%), slowly degradable fraction (32.91 vs. 20.37%), and effective degradability with outflow rates of 0.02 (24.73 vs.12.39%), 0.05 (17.42 vs.8.27%), and 0.08 (14.28 vs.6.19%) ($P<0.05$). Also, irradiation in sugarcane bagasse at the level of 500 kGy compared to other treatments, caused a significant increase in degradability parameters in slowly degradable fraction (43.07 vs. 31.27%) and effective degradability with outflow rates of 0.02 (33.29 vs. 21.12%), 0.05 (23.68 vs.14.50%), and 0.08 (20.51 vs.11.89%). The results of electron beam irradiation effect on particle size distribution showed that there was no significant difference between experimental treatments. The results of the effect of electron irradiation on the relative frequency of ruminal fluid fibrolytic bacteria showed that there is a significant difference in the relative frequency of *Ruminococcus flavofcins* and *Fibrobacter succinogenes* between experimental treatments ($P<0.05$). By increasing the radiation level up to 500 kGy, the relative frequency of *R. flavofcins* bacteria increased in repetition 3 (15.01 vs. 3.84) and repetition 5 (27.77 vs. 11.54) and *F. succinogenes* in repetition 1 (14.83) vs. 4.80) and repetition 2 (25.21 vs. 14.62) was observed, which was significantly higher than the control group ($P<0.05$). Scanning electron microscope images with different doses showed that by increasing the level of radiation up to 500 kGy, a significant increase in the creation of holes and surface fractures of the fibers was observed ($P<0.05$).

Conclusion: The general result of the present study showed that irradiation of wheat straw, barley straw and sugarcane bagasse fibers at 500 kGy levels improved the parameters of degradability and increased the relative abundance of fibrolytic bacteria.

Cite this article: Hajipour, M., Shawrang, P. (2024). The effects of electron beam on the parameters of degradability, particle size distribution, and relative abundance of fibrolytic bacteria in wheat straw, barley straw and sugarcane bagasse in ruminant nutrition. *Journal of Ruminant Research*, 12(4), 1-18.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejrr.2024.21416.1901

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

اثرات پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، توزیع اندازه ذرات و فراوانی نسبی باکتری‌های فیرولیتیک در کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در تغذیه نشخوار کنندگان

محسن حاجی‌پور^{۱*}، پروین شورنگ^۲

^۱ استادیار گروه علوم دامی، واحد قائمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، قائمشهر، ایران، رایانامه: m.hajipour@qaemiau.ac.ir

^۲ دانشیار، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: مواد لیگنوسلولزی اغلب به دلیل دارا بودن ترکیبات دیواره سلولی (سلولز، همی سلولز و لیگنین) گوارش‌پذیری کمی داشته و این مسئله سبب ماندگاری بیشتر مواد خوراکی در شکمبه، کاهش مصرف خوراک، کاهش گوارش‌پذیری و کاهش تولید در نشخوار کنندگان است. به همین دلیل محققان به دنبال یافتن راهی برای افزایش گوارش‌پذیری و تجزیه‌پذیری مواد لیگنوسلولزی در شکمبه بودند. در چند دهه اخیر استفاده از پرتوتابی الکترونی در پژوهش‌های تغذیه دام مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعات مختلف، بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و افزایش اتصال باکتری‌ها به ذرات الیاف مواد خوراکی در اثر به‌کارگیری روش‌های پرتوتابی الکترونی به اثبات رسیده است. انجام این تحقیق که افق تازه‌ای از کاربرد این صنعت را در پژوهش‌های تغذیه دام مورد بررسی قرار داده و می‌تواند سرآغازی برای تحقیقات بیشتر در این زمینه باشد. لذا هدف از این مطالعه بررسی اثرات پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، توزیع اندازه ذرات و فراوانی نسبی باکتری‌های فیرولیتیک در کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در تغذیه نشخوار کنندگان بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱۰ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۱	
واژه‌های کلیدی: الیاف خام باکتری‌های فیرولیتیک پرتوتابی الکترون تجزیه‌پذیری	مواد و روش‌ها: در این مطالعه نمونه مواد خوراکی شامل الیاف کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر با سه دز مختلف صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری پرتوتابی شدند. در ادامه برای تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری از ۳ رأس گوسفند نژاد شال فیستولاگذاری شده با میانگین وزن حدود ۵۹ کیلوگرم و با میانگین سنی تقریباً ۱۲ ماه استفاده شد. برای هر نمونه در هر زمان مورد نظر تعداد چهار کیسه (تکرار) تهیه و حداقل در دو گوسفند فیستوله‌دار به مدت صفر ۴، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت شکمبه‌گذاری شد. گوسفندان در جایگاهی مسقف و نیمه باز، داخل قفس متابولیکی با جیره‌ای کمی بیش از سطح نگهداری، قرار داشتند. برای بررسی اثرات پرتوتابی الکترون بر اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات با استفاده از الک‌های جداکننده ذرات تعیین شد. بدین منظور از سیستم پنسیلوانیا دارای ۳ الک با اندازه قطر منافذ ۱۹، ۸ و ۱/۱۸ میلی‌متر استفاده شد. برای تعیین چسبیدن باکتری‌های شکمبه به ذرات خشبی از روش کیسه‌های نایلونی و دو روش مولکولی و ایزوتوپی استفاده شد. برای مشاهده وضعیت دیواره سلولی مواد خشبی، از میکروسکوپ الکترونی نگاره استفاده شد. برای این منظور از هر نمونه مواد خوراکی با سه دز مختلف (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری) و با بزرگنمایی X ۸۰۰ تصویربرداری شد.

یافته‌ها: نتایج اثر پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر نشان داد که در بخش‌های سریع تجزیه، کندتجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور مختلف، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P < 0/05$). پرتوتابی در کاه گندم در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری نسبت به گروه شاهد، سبب افزایش معنی‌دار بخش سریع تجزیه (۵/۰۹ در مقابل ۱/۴۲ درصد)، ثابت نرخ تجزیه (۴/۵۰ در مقابل ۳/۱۰ درصد) و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور ۰/۰۲ (۲۵/۴۵ در مقابل ۱۴/۳۰ درصد)، ۰/۰۵ (۱۹/۰۲ در مقابل ۹/۵۳ درصد) و ۰/۰۸ (۱۵/۶۷ در مقابل ۷/۳۴ درصد) شد ($P < 0/05$). پرتوتابی در کاه جو در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری نسبت به گروه شاهد، سبب افزایش معنی‌دار بخش سریع تجزیه (۶/۴۵ در مقابل ۲/۴۵ درصد)، کندتجزیه (۳۲/۹۱ در مقابل ۲۰/۳۷ درصد) و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور ۰/۰۲ (۲۴/۷۳ در مقابل ۱۲/۳۹ درصد)، ۰/۰۵ (۱۷/۴۲ در مقابل ۸/۲۷ درصد) و ۰/۰۸ (۱۴/۲۸ در مقابل ۶/۱۹ درصد) شد ($P < 0/05$). همچنین پرتوتابی در باگاس نیشکر در سطح ۵۰۰ کیلوگری نسبت به سایر تیمارها، سبب افزایش معنی‌داری فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در بخش‌های کندتجزیه (۴۳/۰۷ در مقابل ۳۱/۲۷ درصد) و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور ۰/۰۲ (۳۳/۲۹ در مقابل ۲۱/۱۲ درصد)، ۰/۰۵ (۲۳/۶۸ در مقابل ۱۴/۵۰ درصد) و ۰/۰۸ (۲۰/۵۱ در مقابل ۱۱/۸۹ درصد) شد ($P < 0/05$). نتایج اثر پرتوتابی الکترون بر توزیع اندازه ذرات نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت. نتایج اثر پرتوتابی الکترون روی فراوانی نسبی باکتری‌های فیبرولیتیک مایع شکمبه نشان داد که تفاوت معنی‌داری در فراوانی نسبی باکتری‌های رومینوکوکوس فلانوفسینس و فیبروباکتر سوکسینوزنز بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P < 0/05$). با افزایش سطح پرتوتابی تا ۵۰۰ کیلوگری، افزایش فراوانی نسبی باکتری‌های رومینوکوکوس فلانوفسینس در تکرار ۳ (۱۵/۰۱ در مقابل ۳/۸۴) و تکرار ۵ (۲۷/۷۷ در مقابل ۱۱/۵۴) و فیبروباکتر سوکسینوزنز در تکرار ۱ (۱۴/۸۳ در مقابل ۴/۸۰) و تکرار ۲ (۲۵/۲۱ در مقابل ۱۴/۶۲) مشاهده شد که نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0/05$). تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره با دزهای مختلف نشان داد که با افزایش سطح پرتوتابی تا ۵۰۰ کیلوگری، افزایش معنی‌داری در ایجاد حفرات و شکستگی‌های سطحی الیاف مشاهده شد ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: نتیجه کلی تحقیق حاضر نشان داد که پرتوتابی الیاف کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در سطوح ۵۰۰ کیلوگری، سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و افزایش فراوانی نسبی باکتری‌های تجزیه‌کننده الیاف شد.

استناد: حاجی‌پور، محسن؛ شورنگ، پروین. (۱۴۰۳). اثرات پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، توزیع اندازه ذرات و فراوانی نسبی باکتری‌های فیبرولیتیک در کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در تغذیه نشخوارکنندگان. پژوهش در نشخوارکنندگان،

۱۲(۴)، ۱-۱۸

DOI: 10.22069/ejrr.2024.21416.1901

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسنده‌گان



مقدمه

مواد لیگنوسلولزی خوراکی‌های حجیم دارای الیاف زیاد بوده که گوارش‌پذیری آن‌ها کم است. انجمن تحقیقات ملی (NRC) در طبقه‌بندی مواد خوراکی، خوراکی‌های حاوی بیش از ۱۸ درصد الیاف خام با گوارش‌پذیری و پروتئین پایین را مواد لیگنوسلولزی نامید. ارزش غذایی مواد لیگنوسلولزی از منابع باکیفیت (علوفه گرامینه، لگوم‌ها، مواد سیلو شده باکیفیت بالا) تا خوراکی‌های کم‌ارزش (پسماندهای زراعی، کاه‌ها، پوسته‌ها و بعضی از سرشاخه‌ها) متغیر است (Gandi و همکاران، ۱۹۹۷). اهمیت نشخوارکنندگان در زنجیره غذایی، استفاده از مواد لیگنوسلولزی، علوفه‌ای و پسماندهای کشاورزی است (Fazaeli، ۲۰۰۹). مواد لیگنوسلولزی به‌ویژه پسماندهای کشاورزی اغلب به دلیل دارا بودن ترکیبات دیواره سلولی (سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) گوارش‌پذیری کمی دارند و این مسئله سبب ماندگاری بیشتر مواد خوراکی در شکمبه می‌شود که نتیجه آن کاهش مصرف خوراک، افزایش ماندگاری خوراک در شکمبه، کاهش گوارش‌پذیری و کاهش تولید در نشخوارکنندگان است (Ørskov، ۱۹۹۱). به همین دلیل محققان به دنبال یافتن راهی برای افزایش گوارش‌پذیری و تجزیه‌پذیری مواد لیگنوسلولزی و علوفه‌ای در شکمبه بودند. روش‌های عمل‌آوری مختلف شیمیایی، فیزیکی و عمل‌آوری بیولوژیکی برای افزایش تجزیه‌پذیری دیواره‌ی سلولی و بهبود قابلیت هضم علوفه‌ها و مواد لیگنوسلولزی مورد بررسی قرار گرفته است (Bouchard و همکاران، ۲۰۰۶؛ Rouzbehan و همکاران، ۲۰۰۱). روش‌های شیمیایی اگرچه در بهبود ارزش غذایی بقایای زراعی بسیار مؤثر هستند، اما گران بوده و آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد می‌کند (Rouzbehan و همکاران، ۲۰۰۱). در چند دهه اخیر استفاده از پرتوتابی در پژوهش‌های تغذیه دام

مورد توجه قرار گرفته است. پرتوهای مادون قرمز، میکروویو (حرارتی)، گاما و الکترون (غیرحرارتی، یون‌ساز) عمده پرتوهای مورد استفاده در عمل‌آوری مواد خوراکی هستند. در مطالعات مختلف از این پرتوها برای افزایش کیفیت پروتئین، بهبود گوارش‌پذیری مواد مغذی، حذف عوامل ضد تغذیه‌ای و همچنین به منظور کاهش یا حذف آلودگی خوراک استفاده شده است (Al-Masri، ۲۰۰۵). نتایج مطالعات مختلف نشان داد که پرتوتابی خوراکی‌های الیافی مانند کاه گندم سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در آن‌ها شد (Shawrang و همکاران، ۲۰۱۲؛ Aslaniyan و همکاران، ۲۰۲۳ و Shahbazi و همکاران، ۲۰۰۸). افزایش یا کاهش فعالیت هضم الیاف خام در رابطه با عوامل میکروبی می‌تواند به دلیل افزایش یا کاهش رشد و فعالیت باکتری‌های هضم‌کننده الیاف، افزایش یا کاهش اتصال باکتری‌ها به الیاف، افزایش یا کاهش در فعالیت آنزیم‌های هضم‌کننده الیاف باشد (Shi و همکاران، ۱۹۹۷). از این رو، در مطالعات مختلف با استفاده از روش تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی بیان شد که افزایش نفوذ و اتصال باکتری‌ها به سطح الیاف خام در اثر پرتوتابی روی خوراکی‌های الیافی وجود داشت (Salman و همکاران، ۲۰۱۱؛ Leonhardt و همکاران، ۱۹۸۳). لذا هدف از این مطالعه بررسی اثرات پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، توزیع اندازه ذرات و فراوانی نسبی باکتری‌های فیبرولیتیک در کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در تغذیه نشخوارکنندگان بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در مرکز تحقیقات علوم دامی وابسته به واحد علوم تحقیقات و فن‌آوری دانشگاه آزاد مرکزی و نیز مرکز پرتوآیند استان یزد وابسته به سازمان انرژی اتمی ایران انجام شد. مواد لیگنوسلولزی مورد استفاده در این تحقیق شامل کاه

نقاله با سرعت متغیر مجهز شده بود و با تغییر سرعت تسمه نقاله مقادیر مختلف دز جذبی در ماده حاصل می‌شد.

برای تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نمونه‌های آزمایشی، از تعداد ۳ رأس گوسفند نژاد شال فیستولاگذاری شده با میانگین وزن حدود ۵۹ کیلوگرم و با میانگین سنی تقریباً ۱۲ ماه استفاده شد. گوسفندان در جایگاهی مسقف و نیمه باز، داخل قفس متابولیکی با جیره‌ای کمی بیش از سطح نگهداری، قرار داشتند. دام‌ها دسترسی آزاد به آب تمیز داشتند. جیره گوسفندان فیستولاگذاری شده شامل علوفه و کنساتره با نسبت ۴۰ به ۶۰ بود (جدول ۱). جیره در حد نگهداری تهیه و به‌صورت کاملاً مخلوط در دو وعده صبح و عصر داده شد.

گندم و کاه جو که از مزرعه زعفرانیه کرج و باگاس نیشکر از هفت‌تپه استان خوزستان جمع‌آوری و تهیه شدند. جهت نمونه‌برداری از کاه غلات ۱۰ بسته به‌طور تصادفی انتخاب و باز شدند که پس از مخلوط شدن، ۱/۵ کیلو از هر نمونه انتخاب و در کیسه‌های پلاستیکی پلی‌پروپیلن به ابعاد ۹۰×۵۰ سانتی‌متر و ضخامت کمتر از ۸ سانتی‌متر (با توجه به حداکثر نفوذ پرتو الکترون) بسته‌بندی شدند. کلیه نمونه‌ها پس از جمع‌آوری و خشک‌شدن توسط آسیاب واجد توری با سوراخ‌هایی به قطر یک میلی‌متر خرد و برای پرتوتابی به مرکز پرتو فرآیند یزد ارسال شدند. پرتوتابی مواد خوراکی با استفاده از شتاب‌دهنده الکترون مدل TT ۲۰۰ با انرژی ثابت ۱۰ مگا الکترون ولت و با خطای حداکثر ۱۰ درصد انجام شد. به‌منظور پرتوتابی مواد، این شتاب‌دهنده به یک سیستم تسمه

جدول ۱- اقلام و ترکیب شیمیایی جیره استفاده‌شده در آزمایش (درصد ماده خشک)

Table 1. Ingredients and chemical composition of diet used in the study (%DM)

درصد از جیره (% of diet)	اجزای جیره (Diet ingredients)
20.0	کاه گندم (Wheat straw)
10.0	کاه جو (Barley straw)
10.0	باگاس نیشکر (Sugarcane bagasse)
25.0	دانه جو (Barley grain)
15.0	دانه ذرت (Corn grain)
10.0	سیوس گندم (Wheat bran)
8.00	کنجاله سویا (Soybean meal)
0.50	مکمل معدنی و ویتامینی* (Mineral + Vitamin premix)
1.00	دی کلسیم فسفات (Di-calcium phosphate)
0.50	نمک (Salt)
ترکیبات شیمیایی (Chemical composition)	
2.01	انرژی قابل سوخت‌وساز (مگا کالری/کیلوگرم) (ME (Mcal/kg))
89.00	ماده خشک (درصد) (DM (%))
11.10	پروتئین خام (درصد) (Crude protein (%))
38.24	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (درصد) (NDF (%))
26.45	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد) (ADF (%))
0.88	کلسیم (درصد) (Calcium (%))
0.32	فسفر (درصد) (Phosphorus (%))

* هر کیلوگرم از مکمل ویتامینی شامل ۵۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین A، ۱۰۰۰۰۰ واحد بین‌المللی ویتامین D₃ و ۱/۰ گرم ویتامین E. هر کیلوگرم از مکمل معدنی شامل ۱۸۰ گرم کلسیم، ۹۰ گرم فسفر، ۲۰ گرم منیزیم، ۶۰ گرم سدیم، ۲ گرم منگنز، ۳ گرم آهن، ۰/۳ گرم مس، ۳ گرم روی، ۱/۰ گرم کبالت، ۱/۰ گرم سلنیم، ۱/۰ گرم ید، ۴ گرم آنتی‌اکسیدانت.

¹Mineral vitamin mix composition: 500,000 IU/kg of vitamin A; 100,000 IU/kg of vitamin D₃; 1.0 g/kg of vitamin E; Mineral mineral mix composition: Mg; 180 g/kg of Ca; 90 g/kg of P; 20 g/kg of Mn; 60 g/kg of Na; 2.0 g/kg of Mn; 3.0 g/kg of Zn; 1.0 g/kg of Co; 1.0 g/kg of Se; 1.0 g/kg of I; 3.0 g/kg of Antioxidants.

الک با اندازه قطر منافذ ۱۹، ۸ و ۱/۱۸ میلی‌متر استفاده شد (Kononoff, ۲۰۰۲). برای اندازه‌گیری قطعات، مقدار ۵۰ گرم مواد لیگنوسلولزی مورد مطالعه را در ۴ تکرار روی الک اول گذاشته و با چرخاندن الک‌ها، نمونه غربال شد. اندازه ذرات به صورت میانگین هندسی بیان شد. در ساخت این الک‌ها اصول ASAE به کار برده شده است. به طوری که فاصله بین روزنه‌ها در الک بالای ۱۲/۲ میلی‌متر بوده و در الک پایینی ۶/۵ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. این فاصله‌ها سدی سه بعدی برای جلوگیری از خروج ذرات بیشتر از قطعه الک ایجاد می‌کند. دستگاه ASAE نمونه خوراکی را به ۴ قسمت شامل: ۱- موادی که بیشتر از ۱۹ میلی‌متر طول دارند، روی اولین الک بالایی باقی می‌مانند، ۲- موادی که بین ۸ تا ۱۹ میلی‌متر طول دارند، روی الک دوم قرار می‌گیرند، ۳- موادی که بین ۸ تا ۱/۱۸ میلی‌متر طول دارند، روی الک سوم قرار می‌گیرند و ۴- موادی که کمتر از ۱/۱۸ میلی‌متر طول دارند، روی سینی در پایین‌ترین بخش الک (سوم) قرار می‌گیرند، تقسیم می‌کند. پس از الک کردن مواد باقی‌مانده روی هر الک جداگانه توزین و درصد آن روی هر الک محاسبه شد.

برای تعیین چسبیدن باکتری‌های شکمبه به ذرات خشبی از روش کیسه‌های نایلونی و دو روش مولکولی و ایزوتوپی استفاده شد. در این مطالعه نمونه مواد خوراکی شامل الیاف کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر با سه دز مختلف صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم پرتوتابی شدند. برای این منظور از ۳ رأس گوسفند مجهز به فیستولای شکمبه‌ای به مدت ۱۲ روز استفاده شد. قبل از شروع کیسه‌گذاری دام‌ها به مدت ۱۰ روزه با تیمارهای آزمایشی عادت‌دهی شدند. برای هر نمونه در هر زمان مورد نظر تعداد چهار کیسه (تکرار) تهیه و حداقل در دو گوسفند فیستوله‌دار شکمبه‌گذاری شد. گوسفندان با یک جیره نگهداری که شامل ۴۰ درصد

در این آزمایش از کیسه‌های نایلونی با جنس پلی‌استر (داکرون) با قطر منافذ ۴۵ میکرومتر و به ابعاد ۹×۷ سانتی‌متر استفاده شد. برای هر نمونه در هر زمان مورد نظر، تعداد چهار کیسه (تکرار) تهیه و حداقل در دو گوسفند فیستوله‌دار شکمبه‌گذاری شد. همه کیسه‌های حاوی نمونه‌های جیره‌های آزمایشی (۳ گرم) را قبل از قرار دادن در شکمبه، در یک ظرف حاوی آب ولرم با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ دقیقه خیس‌انده تا رطوبت کافی را جذب نمایند. این عمل به خاطر مرطوب شدن نمونه‌ها و دسترسی سریع میکروارگانیسم‌ها به سوبسترا است. سپس کیسه‌های حاوی نمونه با اتصال به یک شیلنگ لاستیکی از طریق فیستولا وارد شکمبه شد. کیسه‌های حاوی نمونه در فواصل زمانی صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از انکوباسیون از شکمبه خارج شد و پس از شستشو در ماشین لباسشویی و خشک نمودن برای تعیین اجزای ترکیبات مغذی تجزیه‌نشده در نمونه‌ها آنالیز شدند. برای تعیین تجزیه‌پذیری در زمان صفر، کیسه‌ها بدون انکوباسیون در شکمبه و با استفاده از ماشین لباسشویی به مدت ۲۰ دقیقه با آب سرد مورد شستشو قرار گرفتند. میزان ناپدید شدن مواد مغذی و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری با استفاده از معادلات غیرخطی Ørskov و McDonald (۱۹۷۹) (رابطه ۱) و با استفاده از نرم‌افزار FitCurve تعیین شدند.

رابطه‌ی (۱):
$$P = a + b(1 - e^{-ct})$$
 در این رابطه P: تجزیه‌پذیری ماده مغذی، a: بخش سریع تجزیه، b: بخش کند تجزیه، c: ثابت نرخ تجزیه، e: عدد نپر و t: زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت) بودند. به منظور بررسی اثرات پرتوتابی الکترون بر توزیع اندازه ذرات مواد خشبی، از الک‌های جداکننده ذرات استفاده شد (ASAE^۱، ۱۹۹۸). برای این منظور از سیستم پنسیلوانیا دارای سه

1- American Social Agriculture Engineering (ASAE)

واکنش‌های PCR استفاده گردید. توالی آغازگرها با استناد به توالی موجود در منابع تهیه گردیدند (Tajima و همکاران، ۲۰۰۱). برای شمارش باکتری‌های موجود در مایع شکمبه از تعداد نسخه‌های DNA موجود در آن نمونه استفاده گردید. محلول‌ها به طور متوالی رقیق گردیدند تا در یکی از رقت‌ها با چند بار تکرار واکنش PCR هیچ بانندی به دست نیامد یا باند خیلی ضعیفی مشاهده شد. برای اطمینان دو رقت پایین‌تر نیز آزمایش گردید و در صورت عدم تشکیل باند، رقت مذکور به‌عنوان محلول حاوی دو کپی از DNA شناخته شد. بدین ترتیب عدد دو در میزان رقت‌های ایجادشده در باکتری DNA ضرب شد به عنوان تعداد کپی از DNA در نمونه اصلی گزارش شد که نمایانگر تعداد باکتری موجود در مایع شکمبه استخراج‌شده بود (Wang و همکاران، ۱۹۹۶).

به‌منظور مشاهده وضعیت دیواره سلولی و اتصال باکتری‌های فیبرولیتیک به دیواره سلولی مواد لیگنوسلولزی قبل و بعد از پرتوتابی، از میکروسکوپ الکترونی نگاره^۲ (SEM) مدل LEO440i ساخت کشور انگلستان واقع در واحد علوم تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی استان تهران استفاده شد. این دستگاه با اسکن نمودن تصاویر به‌وسیله باریکه الکترونی از سطح نمونه، تصویر سه‌بعدی ایجاد می‌نماید. برای این منظور از هر نمونه مواد خوراکی با سه دز مختلف (صفر، ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری) و از هر دز با بزرگنمایی X ۸۰۰ در زمان ۱۲ ساعت انکوباسیون تصویربرداری شد. جهت تعیین میزان تغییرات ساختاری الیاف هر نمونه از کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر، ابتدا یک تکه از مواد خوراکی پرتوتابی و انکوباسیون نشده (گروه شاهد) را به‌وسیله انبرک بر روی جایگاه مخصوص نمونه (استاپ)، قاب‌گیری و یا چسبانده شد. سپس این جایگاه (استاپ) به‌همراه

علوفه و ۶۰ درصد کنسانتره در سطح اندکی بیشتر از نگهداری دو بار در روز تغذیه شدند و دسترسی آزاد به آب داشتند. پس از یک دوره عادت‌پذیری ۱۰ روزه، روزانه ۴/۴ گرم سولفات آمونیوم- N^{15} با غنی‌سازی ۵۰ اتم درصد به‌مدت ۶ روز به داخل شکمبه وارد شد. انکوباسیون مواد خوراکی در شکمبه با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی از روز سوم واردکردن N^{15} برای ۳، ۶، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت صورت گرفت. بعد از بیرون آوردن کیسه‌ها و عمل شستشوی کیسه‌ها، مقدار ناپدید شدن ماده خشک، مقدار نیتروژن و فراوانی ایزوتوپ N^{15} (درصد اتم‌ها) باقی‌مانده‌های کیسه تعیین شد. مرحله تأخیر تجزیه‌پذیری دیواره سلولی مواد خشبی پرتوتابی شده با دزهای مختلف با استفاده از بسته نرم افزار FitCurve محاسبه شد.

برای تعیین نسب باکتری‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی، ۱۰ میلی‌لیتر مایع شکمبه با از طریق دهانی خارج و به سرعت به آزمایشگاه منتقل گردید. ابتدا مایع شکمبه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ (مدل BECKMAN:J2-21M، ساخت آمریکا) شد. سپس مایع رویی جدا و مجدد سانتریفوژ شد. این بار بخش رویی دور ریخته شد (Naserian، ۱۹۹۶) و رسوب با استفاده از ۲ میلی‌لیتر آب مقطر جدا شده تا زمان استخراج DNA در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. بدین وسیله باکتری‌های شکمبه‌ای مربوط به فاز مایع شکمبه استخراج گردید. DNA ژنومی از ۱۰۰ میکرولیتر محلول حاوی باکتری‌های شکمبه‌ای با روش Shaikhayev و همکاران (۱۹۹۵) استخراج گردید. نمونه DNA خالصی از باکتری‌های فیبروباکتر سوکسینوژنز، رومینوکوکوس فلاوفسینس و رومینوکوکوس آلبوس تهیه شده بود، که دارای غلظت مشخصی بودند. از این نمونه‌ها محلول‌های دارای تعداد کپی مشخصی از DNA تهیه برای آزمون حساسیت در

1- Scanning Electron Microscopy (SEM)

بخش سریع تجزیه، کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور مختلف شد ($P < 0/05$). همچنین پرتوتابی در باگاس نیشکر در سطح ۵۰۰ کیلوگرمی نسبت به سایر تیمارها، سبب افزایش معنی‌داری فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در بخش‌های کند تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور مختلف شد ($P < 0/05$).

این یافته‌ها با نتایج تحقیقات بسیاری از محققین از جمله Bak و همکاران (۲۰۱۴)، Shawrang و همکاران (۲۰۱۲) و Sadeghi و Shawrang (۲۰۰۸) مطابقت داشت. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در این پژوهش، مهم‌ترین دلیل افزایش فراسنجه‌های مختلف تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر حاکی از آن است که پرتوتابی الکترون با تولید یون‌ها و رادیکال‌های آزاد سبب شکسته شدن ترکیبات پیچیده دیواره سلولی به‌ویژه جداسازی پیوندهای هیدروژنی، کووالانسی و غیر کووالانسی در ساختمان سلولز و شکستن پیوندهای بین سلولز و سایر ترکیبات می‌شود (Alberti و همکاران، ۲۰۰۵). بر اثر پرتو گاما لیگنین‌زدایی، دپلمریزه شدن و شکستن پیوندهای کووالانسی و تغییر در ساختار سلولز کریستالین روی می‌دهد که نتیجه نهایی آن قابل حل شدن ترکیبات دیواره سلولی است؛ بنابراین سلولز نامحلول بر اثر پرتوتابی محلول‌شده و از بخش غیرقابل تجزیه و بخش کندتجزیه کاه جو وارد بخش سریع تجزیه‌شده است (Han و همکاران، ۱۹۹۸). پرتوتابی الکترون سبب کاهش بلورینگی سلولز، حذف سلولز و همی سلولز و کاهش مقاومت لیگنین می‌شود (Takacs و همکاران، ۲۰۰۰). محدودیت عمده استفاده از باگاس در جیره دام‌ها به دلیل پیوند لیگنین با سلولز و همی سلولز موجود در آن است. لیگنین گوارش‌پذیری سلولز و همی سلولز را در برابر تجزیه‌ی آنزیمی کاهش می‌دهد (Abd El-Aziz و همکاران، ۲۰۱۴).

نمونه روی آن برای عمل‌آوری مکانیکی توسط لایه نازکی از فلز طلا پوشانده شده (به مدت ۹۲ ثانیه) تا پس از رسانا شدن پرتوهای میکروسکوپ الکترونی که روی آن‌ها تابش شدند، به‌صورت سیگنال‌هایی بازتابش شوند و بدین‌وسیله تغییرات ریخت‌شناسی ایجادشده بر روی تمام مواد خوراکی پرتوتابی شده (با دزهای مختلف) و نشده (گروه شاهد) به‌تفکیک در صفحه نمایش رایانه مشاهده و اسکن شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS ویرایش ۹/۱ (SAS) (۲۰۰۱) و با استفاده از مدل آماری زیر انجام شد (رابطه ۲).

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad (\text{رابطه } ۲)$$

در این رابطه، Y_{ij} مقدار هر مشاهده؛ μ میانگین صفت مورد مطالعه؛ T_i اثر پرتوتابی و e_{ij} اثر خطای آزمایش است. مقایسه میانگین تیمارها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد (Duncan، ۱۹۵۵).

نتایج و بحث

نتایج اثر پرتوتابی الکترون روی فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در جدول ۲ نشان داده‌شده است. نتایج نشان داد که در بخش‌های سریع تجزیه، کندتجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور مختلف، تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P < 0/05$). پرتوتابی در کاه گندم در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرمی نسبت به گروه شاهد، سبب افزایش معنی‌دار بخش سریع تجزیه، ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر با سرعت‌های عبور مختلف شد ($P < 0/05$). پرتوتابی در کاه جو در سطوح ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرمی نسبت به گروه شاهد، سبب افزایش معنی‌دار

از پرتو گاما در سطح ۱۵۰ کیلوگری روی کاه سویا، افزایش دزهای پرتوتابی الکترونی بخش سریع تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خشتی به طور معنی داری افزایش یافت. نتیجه یک مطالعه نشان داد که استفاده از پرتو گاما در سطح ۱۵۰ کیلوگری روی کاه سویا، نرخ تجزیه پذیری مؤثر در سرعت های عبور ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ را به طور معنی داری نسبت به گروه شاهد افزایش داد (Aslaniyan و همکاران، ۲۰۲۳).

جدول ۲- اثر پرتوتابی الکترون روی فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر
Table 2- The effect of electron beam irradiation on the ADF degradability parameters of wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse

فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه گندم						دزهای پرتوتابی
The parameters of degradability of ADF of wheat straw						(تیمارهای آزمایشی)
تجزیه پذیری مؤثر با سرعت های عبور مختلف (درصد در ساعت)			ثابت نرخ تجزیه (c) (درصد در ساعت)	بخش کند تجزیه (b) (درصد)	بخش سریع تجزیه (a) (درصد)	
Effective degradability with different passage rate (%/h)			Constant rate of degradation (c) (%/h)	Slowly degraded fraction (b) (%)	Rapidly degraded fraction (a) (%)	Radiation doses (Experimental treatments)
0.08	0.05	0.02				
7.34 ^c	9.53 ^c	14.30 ^b	3.10 ^b	23.20	1.42 ^b	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
13.21 ^a	16.04 ^a	21.76 ^a	3.90 ^a	25.67	4.90 ^a	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
15.67 ^a	19.02 ^a	25.45 ^a	4.50 ^a	28.41	5.09 ^a	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.655	1.743	1.253	0.210	2.656	1.144	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.01	0.03	0.01	0.02	0.06	0.001	احتمال معنی داری (P-Value)
فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه جو						
The parameters of degradability of ADF of barley straw						
تجزیه پذیری مؤثر با سرعت های عبور مختلف (درصد در ساعت)			ثابت نرخ تجزیه (c) (درصد در ساعت)	بخش کند تجزیه (b) (درصد)	بخش سریع تجزیه (a) (درصد)	
0.08	0.05	0.02				
6.19 ^b	8.27 ^b	12.39 ^b	2.10	20.37 ^b	2.45 ^b	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
12.86 ^a	14.82 ^a	20.99 ^a	2.30	29.08 ^a	5.98 ^a	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
14.28 ^a	17.42 ^a	24.73 ^a	2.50	32.91 ^a	6.45 ^a	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
2.229	2.154	2.686	0.151	2.886	1.134	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.02	0.02	0.01	0.23	0.02	0.02	احتمال معنی داری (P-Value)
فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده اسیدی باگاس نیشکر						
The parameters of degradability of ADF of sugarcane bagasse						
تجزیه پذیری مؤثر با سرعت های عبور مختلف (درصد در ساعت)			ثابت نرخ تجزیه (c) (درصد در ساعت)	بخش کند تجزیه (b) (درصد)	بخش سریع تجزیه (a) (درصد)	
0.08	0.05	0.02				
11.89 ^b	14.50 ^b	21.12 ^b	1.90	31.27 ^b	5.89	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
13.80 ^b	17.21 ^b	24.78 ^b	2.20	35.64 ^b	7.12	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
20.51 ^a	23.68 ^a	33.29 ^a	2.60	43.07 ^a	8.95	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
2.168	2.121	2.857	0.272	2.362	1.184	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.01	0.02	0.02	0.14	0.02	0.16	احتمال معنی داری (P-Value)

میانگین های هر ستون با حروف غیر مشترک دارای تفاوت معنی دار می باشند (P<0.05).

Means within same column with different superscripts differ (P<0.05)

با مقاومت یکسان از شکمبه خارج می شود؛ بنابراین عبور مواد خوراکی خورده شده از شکمبه تحت تأثیر اندازه ذرات، سطح مصرف خوراک، شناوری ذرات، چگالی ویژه و تراکم است (ASAE، ۱۹۹۸). خوراک های دارای اندازه ی ذرات بزرگ تر معمولاً سبب ایجاد

نتایج اثر پرتوتابی الکترون بر توزیع اندازه ذرات کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که تفاوت معنی داری بین تیمارهای آزمایشی وجود نداشت. Cardoza (۱۹۸۵) معتقد است ذرات کوچک تر از ۱/۱۸ میلی متر

اثرات پرتوتابی الکترون بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری... / محسن حاجی پور و پروین شورنگ

هضمی مواد خوراکی و افزایش سطح اتصال باکتری‌ها و نهایتاً موجب بهبود هضم شد (Yang و Beauchemin, ۲۰۰۶). همسو با این نتایج، گزارش شد که فرآوری خوراکی‌های الیافی سبب ایجاد تغییرات معنی‌دار روی توزیع اندازه ذرات یونجه شد (Golchin-Gelehdoo و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین در یک مطالعه نشان داده شد که پرتودهی گاما در سطح ۶۰۰ کیلوگری باعث کاهش اندازه ذرات کاه برنج شد (Wu و همکاران، ۲۰۲۰).

حس سیری بیشتری در حیوانات می‌شوند که به دلیل سرعت پایین‌تر عبور و محدود کردن خوراک مصرفی به دلیل کشیدگی دیواره شکمبه و تحریک گیرنده‌های کششی می‌باشد (Allen, ۱۹۹۷). در طول این زمان، پیشنهاد شد که کاهش اندازه‌ی ذرات جیره می‌تواند به دلیل افزایش تراکم ذرات به‌طور مثبتی مصرف خوراک را تحت تأثیر قرار دهد (Allen, ۱۹۹۷). افزایش اندازه‌ی ذرات جیره‌ای به دلیل اثر پرکنندگی علوفه‌ها سبب کاهش مصرف خوراک می‌شود. همچنین کاهش اندازه ذرات سبب افزایش سطح

جدول ۳- اثر پرتوتابی الکترون روی توزیع اندازه ذرات کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر

Table 3- The effect of electron irradiation on particle size distribution of wheat straw, barley straw, and sugarcane bagasse

The effect of electron irradiation on particle size distribution of wheat straw					دزهای پرتوتابی (تیمارهای آزمایشی)
میانگین هندسی Geometric mean	۱/۱۸ < میلی‌متر	۱/۱۸ - ۸ میلی‌متر	۸ - ۱۹ میلی‌متر	۱۹ > میلی‌متر	
	mm 1.18 >	mm 1.18-8	mm 8-19	mm 19 >	Radiation doses (Experimental treatments)
18.09	25.56	46.65	24.64	4.15	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
18.26	24.68	44.06	25.58	5.68	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
16.47	27.31	48.14	22.37	3.18	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.212	1.417	2.815	1.402	0.989	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.41	0.63	0.25	0.12	0.06	احتمال معنی‌داری (P-Value)
The effect of electron irradiation on particle size distribution of barley straw					دزهای پرتوتابی (تیمارهای آزمایشی)
میانگین هندسی Geometric mean	۱/۱۸ < میلی‌متر	۱/۱۸ - ۸ میلی‌متر	۸ - ۱۹ میلی‌متر	۱۹ > میلی‌متر	
	mm 1.18 >	mm 1.18-8	mm 8-19	mm 19 >	Radiation doses (Experimental treatments)
19.79	18.46	49.54	24.64	8.36	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
19.35	16.23	50.77	27.49	6.51	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
20.27	17.26	48.49	26.34	7.91	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.310	1.426	2.912	1.503	0.896	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.19	0.46	0.13	0.23	0.73	احتمال معنی‌داری (P-Value)
The effect of electron irradiation on particle size distribution of sugarcane bagasse					دزهای پرتوتابی (تیمارهای آزمایشی)
میانگین هندسی Geometric mean	۱/۱۸ < میلی‌متر	۱/۱۸ - ۸ میلی‌متر	۸ - ۱۹ میلی‌متر	۱۹ > میلی‌متر	
	mm 1.18 >	mm 1.18-8	mm 8-19	mm 19 >	Radiation doses (Experimental treatments)
20.79	8.15	27.35	38.16	26.34	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
19.57	6.98	28.21	40.92	25.14	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
20.75	8.46	27.49	39.67	24.38	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.326	0.642	1.349	1.519	1.298	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.39	0.07	0.58	0.10	0.22	احتمال معنی‌داری (P-Value)

داده‌شده است. نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری در فراوانی نسبی باکتری‌های رومینوکوکوس

نتایج اثر پرتوتابی الکترون بر فراوانی نسبی باکتری‌های فیبرولیتیک مایع شکمبه در جدول ۴ نشان

فلاوفسینس و فیبروباکتر سوکسینوژنز بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد ($P < 0/05$). با افزایش سطح پرتوتابی تا ۵۰۰ کیلوگری، افزایش فراوانی نسبی باکتری‌های رومینوکوکوس فلاوفسینس و فیبروباکتر سوکسینوژنز در برخی تکرارهای آزمایش مشاهده شد که نسبت به گروه شاهد به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

جدول ۴- اثر پرتوتابی الکترون روی فراوانی نسبی باکتری‌های فیبرولیتیک در زمان انکوباسیون ۳ ساعت (در هر گرم از محتویات مایع شکمبه)

Table 4- The effect of electron irradiation on the relative abundance of fibrolytic bacteria during 3 hours of incubation (per gram of rumen liquid contents)

تکرار ۶	تکرار ۵	تکرار ۴	تکرار ۳	تکرار ۲	تکرار ۱	دزهای پرتوتابی باکتری‌های فیبرولیتیک
Repeat 6	Repeat 5	Repeat 4	Repeat 3	Repeat 2	Repeat 1	Doses of radiation/Fibrolytic bacteria
<i>رومینوکوکوس آلبوس</i>						
<i>Ruminococcus albus</i>						
8.931	8.281	7.089	10.397	5.963	6.239	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
9.047	7.335	7.385	11.244	5.370	6.462	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
9.036	8.058	7.180	10.396	5.469	5.950	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.612	1.589	1.526	1.887	1.365	1.310	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.16	0.63	0.11	0.29	0.23	0.74	احتمال معنی‌داری (P-Value)
<i>رومینوکوکوس فلاوفسینس</i>						
<i>Ruminococcus flavefaciens</i>						
5.621	11.542 ^b	15.557	3.840 ^c	10.560	30.287	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
4.638	20.768 ^a	17.613	8.806 ^b	16.043	33.693	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
7.509	27.778 ^a	19.608	15.011 ^a	15.677	27.876	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
1.436	2.549	2.120	1.954	2.023	3.263	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.27	0.01	0.310	0.002	0.08	0.86	احتمال معنی‌داری (P-Value)
<i>فیبروباکتر سوکسینوژنز</i>						
<i>Fibrobacter succinogenes</i>						
25.865	9.218	20.914	5.008	14.626 ^b	4.808 ^b	صفر کیلوگری (شاهد) (0 kGy)
27.582	10.233	18.706	4.896	17.618 ^b	12.861 ^a	۲۵۰ کیلوگری (250 kGy)
32.987	13.320	21.822	6.228	25.215 ^a	14.838 ^a	۵۰۰ کیلوگری (500 kGy)
2.986	1.410	2.242	0.891	2.342	1.852	خطای استاندارد میانگین (SEM)
0.07	0.17	0.72	0.33	0.02	0.03	احتمال معنی‌داری (P-Value)

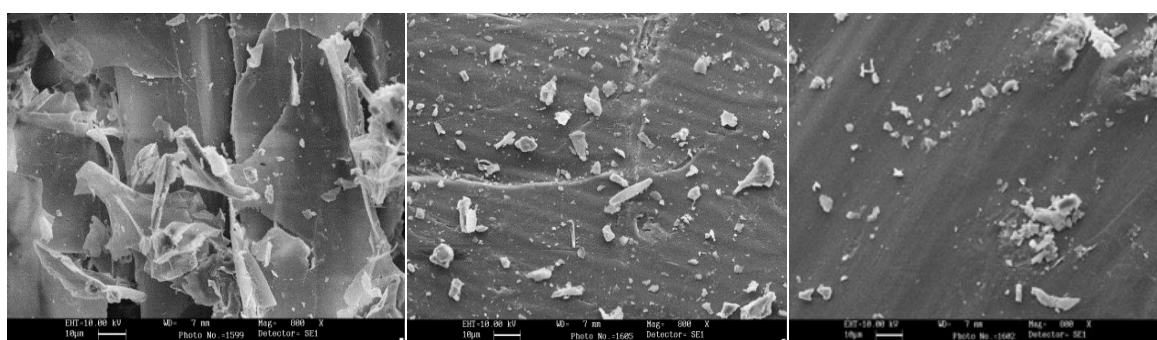
سلول یا افزایش سطح تماس به‌منظور تأثیرگذاری آنزیم‌ها و باکتری‌های تجزیه‌کننده الیاف می‌باشد (Shahbazi و همکاران، ۲۰۰۸). در نتیجه عمل‌آوری، لیگنین‌زدایی صورت می‌گیرد. این امر باعث تغییراتی در ساختمان دیواره سلولی شده، به‌نحوی که با حذف لیگنین، محتویات سلولی به آسانی در دسترس میکروارگانیسم‌های شکمبه قرار می‌گیرند و سبب افزایش جمعیت میکروب‌های شکمبه می‌شود (Yang و همکاران، ۲۰۱۲). پرتوتابی گاه گندم سبب شکستن اجزای دیواره سلولی و

همسو با این نتایج، در یک مطالعه اثر پرتوتابی الکترون با دز ۵۰۰ کیلوگری سبب افزایش فراوانی نسبی باکتری رومینوکوکوس فلاوفسینس و فیبروباکتر سوکسینوژنز در نمونه‌های باگاس نیشکر شد (Gholi Valikolaei و همکاران، ۲۰۱۲). با انجام عمل‌آوری مناسب، می‌توان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دیواره سلولی را توسط میکروارگانیسم‌ها افزایش داد که نتیجه آن بهبود ارزش انرژی‌زایی کاه‌ها می‌باشد. هدف از پرتوتابی، شکستن ساختار و پیوندهای دیواره سلولی به‌منظور آزادسازی اجزا و محتویات

آب‌گریزی است. همچنین بدون حفره و منافذ بوده و برخی از ذرات خرد شده حاصل از پهنه برگ، غلاف و ساقه گندم در حین درو به صورت چسبیده روی کوتیکول و لایه مومی اپیدرم دیده شده است. در بخش (ب) کاه گندم پرتوتابی شده با سطح ۲۵۰ کیلوگری، حاکی از آغاز چین خوردگی و شکاف روی قسمت‌های سطحی دیواره سلولی و افزایش ذرات شکسته، خرد شده و چسبیده به لایه مومی شکل اپیدرم (کوتیکول) کاه گندم که ناشی از پرتوتابی در دز ۲۵۰ کیلوگری دیده شده است. ذرات خرد شده با اشکال هندسی نامنظم در اثر افزایش دز پرتوتابی حاصل شد. در بخش (ج) کاه گندم پرتوتابی شده با سطح ۵۰۰ کیلوگری نشان‌دهنده آن است که افزایش چین خوردگی و شکاف‌های عمیق با شکستگی‌های بی‌نظم دیواره سلولی که به صورت لایه لایه باله‌های تیز، برنده و سخت دیده شده و ذرات شکسته و خرد شده در ابعاد هندسی بزرگ‌تر، تعداد حفرات کم، اما قطورت‌تر دیده شدند.

در نتیجه افزایش جمعیت میکروب‌های مایع شکمبه برای تجزیه محتوی دیواره سلولی رخ می‌دهد (Pritchard و همکاران، ۱۹۶۲). گزارش شد توانایی اتصال باکتری رومینوکوکوس فلاووسینس به دیواره‌های سلولی گیاه با روش‌های مختلف فرآوری شامل خرد کردن بافت گیاهی و فرآوری‌های فیزیکی یا شیمیایی جهت هضم کارآمدتر دیواره سلولی گیاه افزایش می‌یابد (Latham و همکاران، ۱۹۷۸). پرتوتابی الکترونی عمدتاً محتوی سلولز دیواره سلولی گیاه را تجزیه یا پلیمریزه می‌کند. در نتیجه پیوند لیگنین با سایر ترکیبات در دیواره سلولی توسط پرتوتابی قطع و افزایش فراوانی باکتری‌های هضم‌کننده الیاف مشاهده می‌شود (Wasikiewicz و همکاران، ۲۰۰۵).

تصاویر میکروسکوپ الکترونی کاه گندم پرتوتابی شده پس از ۱۲ ساعت انکوباسیون، با دزهای مختلف در بزرگ‌نمایی $800 \times$ در شکل ۱ نشان داده شده است. در بخش (الف) کاه گندم پرتوتابی نشده (شاهد) دارای سطح صاف، بدون چین خوردگی و شکاف، همراه با لایه مومی و کوتیکولی که دارای خاصیت



الف) (A) کاه گندم پرتوتابی نشده (شاهد) (ب) (B) کاه گندم پرتوتابی با دز ۲۵۰ (ج) (C) کاه گندم پرتوتابی با دز ۵۰۰

شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره کاه گندم ۱۲ ساعت انکوباسیون شده قبل (شاهد)

و بعد از پرتوتابی به ترتیب با دزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری

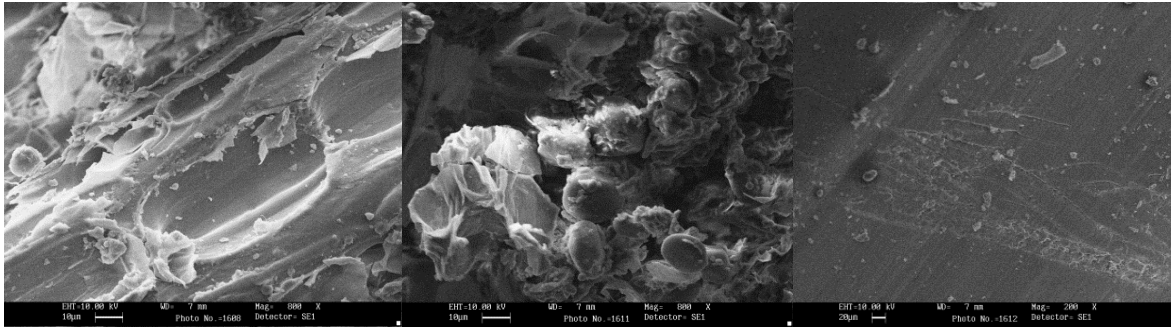
Figure 1- Scanning electron microscopy images of wheat straw incubated for 12 hours before (control) and after irradiation with doses of 250 and 500 kGy, respectively.

در شکل ۲ نشان داده شده است. در بخش (الف) کاه جو پرتوتابی نشده، نشان‌دهنده آن است که الیاف

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره کاه جو پرتوتابی شده با دزهای مختلف در بزرگ‌نمایی $800 \times$

توپوگرافی منظم و ملایم همراه با حفرات عمیق و نامنظم (خوشه‌ای) است. در بخش (ج) کاه جو پرتوتابی شده در دز ۵۰۰ کیلوگرم، حفرات عمیق ایجاد شده در یک محور طولی مشاهده شده است و همچنین توپوگرافی خشن به همراه لبه‌های ناهموار دیده شده است.

دیواره سلولی مسطح و به صورت میکروفیبریل‌های لایه‌بندی شده با لایه‌هایی از کوتیکول مومی آب‌گریز با شکاف‌های سطحی نامنظم و ذرات خرد شده پهنه برگ و غلاف ساقه‌ها در حین درو به صورت چسبیده به لایه کوتیکول اپیدرم دیده شده است. در بخش (ب) کاه جو پرتوتابی شده در دز ۲۵۰ کیلوگری نشان‌دهنده



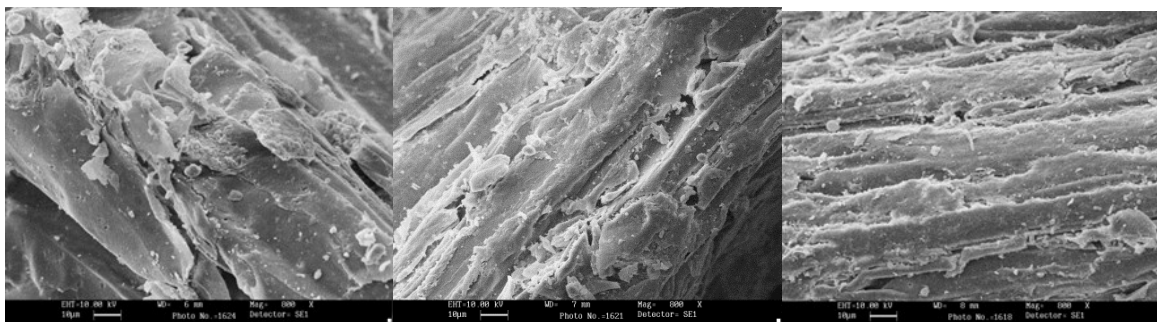
(الف) (A) کاه جو پرتوتابی نشده (شاهد) (ب) (B) کاه جو پرتوتابی با دز ۲۵۰ (ج) (C) کاه جو پرتوتابی با دز ۵۰۰

شکل ۲- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره کاه جو ۱۲ ساعت انکوباسیون شده قبل (شاهد) و بعد از پرتوتابی به ترتیب با دزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری

Figure 2- Scanning electron microscopy images of barley straw incubated for 12 hours before (control) and after irradiation with doses of 250 and 500 kGy, respectively.

ملایم مشاهده شده که این چین خوردگی‌ها و شکستگی‌ها سرآغازی برای تشکیل حفرات سلولی است. ذرات خرد شده بین لایه‌های الیاف در نواحی شیارها دیده شد. در بخش (ج) باگاس پرتوتابی شده با دز ۵۰۰ کیلوگری، نشان‌دهنده آن است که توپوگرافی و چین خوردگی‌ها به صورت شیارهای منظم و موجی شکل همراه با شکستگی‌ها در نزدیکی لبه‌ها دیده شد. میکروسکوپ الکترونی نگاره می‌تواند تصاویر سطحی یا نزدیک به سطح نمونه‌های خوراکی را تصویرسازی نماید (El Faki و همکاران، ۱۹۸۳). همچنین حفرات و شکستگی‌های سطحی الیاف در اثر عمل‌آوری و پرتوتابی را نشان دهد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی می‌تواند خصوصیات ریخت‌شناسی الیاف و دیواره سلولی کاه‌ها را در

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره باگاس نیشکر پرتوتابی شده با دزهای مختلف در بزرگ‌نمایی $800\times$ در شکل ۳ نشان داده شده است. در بخش (الف) باگاس نیشکر پرتوتابی نشده (شاهد)، نشان‌دهنده آن است که الیاف حقیقی باگاس طبیعتاً دارای لایه‌های متعدد با توپوگرافی ملایم به همراه منافذ و حفرات کوچک دیده شد. همچنین ذرات خرد شده پهنه برگ و غلاف ساقه نیشکر به همراه تکه‌هایی از پیت باگاس روی کوتیکول و لایه‌های مومی الیاف حقیقی دیواره سلولی باگاس به حالت چسبیده مشاهده گردید. در بخش (ب) نشان‌دهنده آن است که با افزایش دز پرتوتابی (۲۵۰ کیلوگری در مقایسه با صفر کیلوگری) بر دیواره سلولی باگاس فواصل بین لایه‌های الیاف بیشتر شده و در برخی مکان‌ها نظیر لبه‌ها، پوسته پوسته و به همراه چین‌های



(الف) (A) باگاس نیشکر پرتوتابی نشده (ب) (B) باگاس نیشکر پرتوتابی با دز ۲۵۰ (ج) (C) باگاس نیشکر پرتوتابی با دز ۵۰۰ (شاهد)

شکل ۳- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره باگاس نیشکر ۱۲ ساعت انکوباسیون شده قبل (شاهد) و بعد از پرتوتابی به ترتیب به دزهای ۲۵۰ و ۵۰۰ کیلوگری

Figure 2- Scanning electron microscopy images of sugarcane bagasse incubated for 12 hours before (control) and after irradiation with doses of 250 and 500 kGy, respectively

که پس از فرآوری تخریب می‌شوند. در یک تحقیق بیان شد که پرتوتابی الکترون بر کاه گندم و کاه جو سبب افزایش تجزیه‌پذیری سلولز و همی سلولز و نیز تخریب ساختار دیواره سلولی شد (Leonhardt و همکاران، ۱۹۸۳). نتایج حاصل از یک پژوهش نشان داد پرتوتابی الکترونی در سطوح ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگری سبب کاهش میزان دیواره سلولی کاه جو شد و نقش مؤثری در بهبود ارزش غذایی و گوارش‌پذیری این خوراک داشت (Tabatabaie و همکاران، ۲۰۱۵).

نتیجه‌گیری کلی

نتیجه کلی تحقیق حاضر نشان داد که پرتوتابی الیاف کاه گندم، کاه جو و باگاس نیشکر در سطوح ۵۰۰ کیلوگری، سبب بهبود فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و افزایش فراوانی نسبی باکتری‌های تجزیه‌کننده الیاف شد. پیشنهاد می‌شود با توجه به بررسی جنبه‌های اقتصادی این طرح و نیز انجام آزمایشات عملکردی، استفاده از فرآوری پرتوتابی جهت بهبود خصوصیات تغذیه‌ای الیاف خام جیره در تغذیه نشخوارکنندگان قابل توصیه است.

مشاهدات میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که کاه گندم، جو و باگاس نیشکر دارای یک پیچیدگی ساختاری از چندین بافت و اندام‌های مختلف درون سلولی است که این ساختار شامل سلول‌های پارانشیم، اسکلرانشیم، مزوفیل، دسته‌های آوندی مجتمع شده در سلول‌های پارانشیمی و عناصر آوندی در بخش داخلی است. با افزایش دز پرتوتابی، ذرات شکسته‌تر و سطوح کاه ناهموارتر و ابعاد هندسی ذرات شکسته بزرگ‌تر شد. با افزایش دز سطح دیواره سلولی ناهموارتر و به‌صورت آمورف (بی‌شکل) دیده‌شده که شکل ظاهری آن به حالت توده برفی نرم و فاقد لبه‌های تیز و خشن است. همچنین میکروفیبریل‌ها شکننده و نامنظم‌تر شده و احتمالاً نفوذ باکتری‌ها تا عمق دیواره فرورفته و تشکیل سلولوزوم داده است. همسو با نتایج حاصل از شکل ۱، در یک مطالعه با استفاده تصاویر میکروسکوپ الکترونی گزارش شد که پرتوتابی سبب تخریب ساختار دیواره سلولی و اتصال بیشتر باکتری‌ها به ذرات ماده خوراکی شد (Choi و همکاران، ۲۰۰۹). Zheng و همکاران (۲۰۱۸) گزارش دادند که سطح نمونه‌های کاه گندم به‌طور عمده از لیگنین و همی سلولز تشکیل شده است

منابع

- Abd El-Aziz, N.A., Salem, A.Z.M., El-Adawy, M.M., Camacho, L.M., Kholif, A.E., Elghandour, M. M.Y. & Borhami, B.E. (2014). Biological treatments and feeding sugarcane bagasse in agriculture. *Animals Journal of Integrative Agriculture*, 3119 (14): 60829-60836.
- Alberti, A., Bertini, S., Gastaldi, G., Iannaccone, N., Macciantelli, D., Torri, G. & Vismara, E. (2005). Electron beam irradiated textile cellulose fibers: ESR studies and derivatisation with glycidyl methacrylate (GMA). *European Polymer Journal*, 41(8): 1787-1797.
- Allen, M.S. (1997). Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science*, 80 (7): 1447-1462.
- Al-Masri, M.R. (2005). Nutritive value of some agricultural wastes as affected by relatively low gamma irradiation levels and chemical treatments. *Bioresource Technology*, 96 (15): 1737-1741.
- ASAE. Standard. (1998). Method of determining and expressing particle size of chopped forage material by screening. St. Joseph. MI: ASAE.
- Aslaniyan, A., Ghanbari, F., Kouhsar, J. B. & Shahraki, B.K. (2023). Comparing the effects of gamma ray and alkaline treatments of sodium hydroxide and calcium oxide on chemical composition, ruminal degradation kinetics and crystallinity degree of soybean straw. *Applied Radiation and Isotopes*, 191: 110524.
- Bak, J.S. (2014). Electron beam irradiation enhances the digestibility and fermentation yield of water-soaked lignocellulosic biomass. *Biotechnology Reports*, 4, 30-33.
- Blümmel, M., Steingaß, H. Becker, K. (1997). The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and 15N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *British Journal of Nutrition*, 77(6): 911-921.
- Bouchard, J., Methot, M. & Jordan, B. (2006). The effects of ionizing radiation on the cellulose of woodfree paper. *Cellulose*, 13: 601-610.
- Cardoza, R.C. (1985). Threshold size and factors affecting fecal particle weight distribution (Doctoral dissertation, University of Georgia).
- Choi, J.I., Kim, J.K., Srinivasan, P., Kim, J.H., Park, H.J., Byun, M.W. & Lee, J.W. (2009). Comparison of gamma ray and electron beam irradiation on extraction yield, morphological and antioxidant properties of polysaccharides from tamarind seed. *Radiation Physics and Chemistry*, 78(7-8): 605-609.
- Duncan, D.B. (1955). Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, 1: 1-42.
- El Faki, H.A., Desikachar, H.S.R., Tareen, J.A.K. & Tharanathan, R.N. (1983). Scanning electron microscopy of *in vivo* and *in vitro* digested starch granules of chick pea, cow pea and horse gram. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 17 (5): 276-281.
- Fazaeli, H. (2009). Optimum use of agricultural wastes in livestock feed. Fourth National Conference on Agricultural Waste Dissertation, *Tarbiat Modares University*, 198-201 (In Persian).
- Gandi, J., Holtzapple, M.T., Ferrer, A., Byers, F.M., Turner, N.D., Nagwani, M. & Chang, S. (1997). Lime treatment of agricultural residues to improve rumen digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 68(3-4): 195-211.
- Gholi Valikolaie, D., Halajian, M.T., Shorang, P. & Bakhshi Khanaki, G.H. (2012). Evaluating the effect of electron irradiation on the binding time of fibrolytic bacteria in the rumen using polymerase chain reaction. Payam Noor University of Tehran Province, Faculty of Basic Sciences, Master's Degree (In Persian).
- Golchin Gelehdoon, S., Teimouri Yansari, A. & Khalvati, L. (2013). The effects of alfalfa particle size and Canola meal treated with hydrochloric acid on physical effectiveness, intake, digestibility and chewing behavior in Zell sheep. *Journal of Ruminant Research*, 2: 18-39 (In Persian).

- Han, G., Zhang, C., Zhang, D., Umemura, K. & Kawai, S. (1998). Upgrading of urea formaldehyde-bonded reed and wheat straw particleboards using silane coupling agents. *Journal of Wood Science*, 44: 282-286.
- Kononoff, P.J. (2002). The effect of ration particle size on dairy cows in early lactation. The Pennsylvania State University.
- Latham, M.J., Brooker, B.E., Pettipher, G.L. & Harris, P.J. (1978). Ruminococcus flavefaciens cell coat and adhesion to cotton cellulose and to cell walls in leaves of perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Applied and Environmental Microbiology*, 35(1):156-165.
- Leonhardt, J.W., Baer, M., Huebner, G., Hennig, A. & Nehring, K. (1983). Gamma and electron radiation effects on straw. *Radiation Physics and Chemistry*, 21(4): 397-400.
- Mulvaney, R.L., Fohringer, C.L., Bojan, V.J., Michlik, M.M. & Herzog, L.F. (1990). A commercial system for automated nitrogen isotope-ratio analysis by the Rittenberg technique. *Review of Scientific Instruments*, 61 (2): 897-903.
- Naserian AA. (1996). Effect of dietary fat supplementation on food digestion & milk protein production by lactating cows and goats. Thesis (PhD), University of Queensland. AU.
- Ørskov, E.R. & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92 (2): 499-503.
- Ørskov, E. R. (1991). Manipulation of fibre digestion in the rumen. *Proceedings of the Nutrition Society*, 50 (2), 187-196.
- Pritchard, G.I., Pigden, W.J. & Minson, D.J. (1962). Effect of gamma radiation on the utilization of wheat straw by rumen microorganisms. *Canadian Journal of Animal Science*, 42 (2): 215-217.
- Rouzbehan, Y., Fazaeli, H. & Kiani, A. (2001). The chemical composition and digestibility of wheat straw treated with urea and white rot fungi. In Proceedings of the British Society of Animal Science (Vol. 2001, pp. 123-123). Cambridge University Press.
- SAS. (2001). Statistical Analysis System User's Guide: Statistics. SAS Institute, Cary, NC.
- Salman, F.M., Salama, R., Khattab, A.E., Soliman, S.M. & El-Nameary, Y.A. (2011). Chemical, biological and biochemical treatments to improve the nutritive values of sugarcane bagasse (SCB): 1-Chemical composition, scanning electron microscopy, *in vitro* evaluation, nutrients digestibility and nitrogen utilization of untreated or treated SCB. *Life Science Journal - Acta Zhengzhou University Overseas Edition*, 8(4): 351-363.
- Sadeghi, A.A. & Shawrang, P. (2008). Effects of microwave irradiation on ruminal dry matter, protein and starch degradation characteristics of barley grain. *Animal Feed Science and Technology*, 141(1-2): 184-194.
- Shahbazi, H.R., Sadeghi, A.A., Fazaeli, H., Raisali, G., Chamani, M. & 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(4): 464-468.
- Shaikhayev, G.O. (1995). Extraction of DNA from the whole blood by silica gel. *Gene Biology, Moscow*.
- Shawrang, P., Majdabadi, A. & Sadeghi, A.A. (2012). Changes in cell wall compositions and degradation kinetics of electron beam-irradiated sugarcane bagasse. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 36(5): 527-532.
- Shi, Y., Odt, C.L. & Weimer, P.J. (1997). Competition for cellulose among three predominant ruminal cellulolytic bacteria under substrate-excess and substrate-limited conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 63(2): 734-742.
- Tajima, K., Aminov, R.I., Nagamine, T., Matsui, H., Nakamura, M. & Benno, Y. (2001). Diet-dependent shifts in the bacterial population of the rumen revealed with real-time PCR. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(6), 2766-2774.
- Takacs, E., Wojnarovits, L., Földváry, C., Hargittai, P., Borsa, J. & Sajo, I. (2000). Effect of combined gamma-irradiation and alkali treatment on cotton-cellulose. *Radiation Physics and Chemistry*, 57(3-6): 399-403.

- Tabatabaie, N., Fathi Nasri, M.H., Farhangfar, H. & Riasi, A. (2015). Nutritional value determination of beam irradiated barley straw. *Journal of Livestock Research*, 4(2): 9-17.
- Wang, R.F., Cao, W.W. & Cerniglia, C.E. (1996). PCR detection and quantitation of predominant anaerobic bacteria in human and animal fecal samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 62(4), 1242-1247.
- Wang, Y., Ramirez-Bribiesca, J.E., Yanke, L.J., Tsang, A. & McAllister, T.A. (2012). Effect of exogenous fibrolytic enzyme application on the microbial attachment and digestion of barley straw *in vitro*. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(1): 66.
- Wasikiewicz, J.M., Yoshii, F., Nagasawa, N., Wach, R.A. & Mitomo, H. (2005). Degradation of chitosan and sodium alginate by gamma radiation, sonochemical and ultraviolet methods. *Radiation Physics and Chemistry*, 73(5): 287-295.
- Wu, X., Chen, L., He, W., Qi, H., Zhang, Y., Zhou, Y. & Wang, K. (2020). Characterize the physicochemical structure and enzymatic efficiency of agricultural residues exposed to γ -irradiation pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 150: 112228.
- Yang, L., Cao, J., Jin, Y., Chang, H.M., Jameel, H., Phillips, R. & Li, Z. (2012). Effects of sodium carbonate pretreatment on the chemical compositions and enzymatic saccharification of rice straw. *Bioresource Technology*, 124: 283-291.
- Yang, W.Z. & Beauchemin, K.A. (2006). Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *Journal of Dairy Science*, 89(1): 217-228.
- Zheng, Q., Zhou, T., Wang, Y., Cao, X., Wu, S., Zhao, M. & Guan, X. (2018). Pretreatment of wheat straw leads to structural changes and improved enzymatic hydrolysis. *Scientific Reports*, 8(1): 1321-1329.