نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان
جلد پنجم، شماره چهارم، ۱۳۹۶
http://ejrr.gau.ac.ir

بررسی تغییرات ترکیب شیمیایی، روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و هضم روده‌ای نشاسته و پروتئین خام پروتئین واریته‌های مختلف دانه جو پرتوتابی شده با مایکروویو

الناز پیرعدل[۱]، رسول پیرمحمدی[۲] و *حامد خلیل‌وندی بهروزیار[۳]

[۱]دانشجوی دکتری، [۲]استاد و [۳]استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۱۰

چکیده

سابقه و هدف: پرتوتابی ریزموج نوعی عمل‌آوری حرارتی برای کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام، نشاسته و افزایش پروتئین عبوری به روده کوچک در جهت بهبود تخمیر شکمبه‌ای غلات می‌باشد. این پژوهش در راستای بررسی روند تجزیه-پذیری نشاسته و پروتئین خام ارقام مختلف دانه جو پرتوتابی شده با ریزموج و نحوه توزیع پروتئین در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل و سیستم پروتئین قابل متابولیسم انجام شد.

مواد و روش‌ها: تعیین ترکیبات شیمیایی با آسیاب آزمایشگاهی با الک ۱ میلی‌متری آسیاب و غلظت ماده خشک، ماده آلی پروتئین خام (دستگاه‌های کجلدال[۱])، چربی خام با استفاده از روش‌های استاندارد AOAC (۲۰۰۰)، نشاسته به روش آنتروم (۴۴) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (سیستم آنکوم[۲]) و الیاف محلول در شوینده اسیدی با روش ون سوست و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری (سه تکرار) شد. ارقام جو ماکویی، بهمن آبی و سهند به‌مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه در معرض تابش پرتو ریزموج (مایکروویو) قرار گرفتند. کنتیک و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، نشاسته و پروتئین نمونه‌های خوراکی به‌روش کیسه‌های نایلونی با استفاده از سه رأس گوساله نر نژاد هلشتاین مجهز به فیستولای قابل انعطاف شکمبه‌ای در ساعات ۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی تعیین شد. توزیع پروتئین بر اساس سیستم پروتئین قابل متابولیسم بر اساس معادلات مربوطه تعیین و میزان حلالیت پروتئین در بافرهای مختلف به‌منظور فهم نحوه توزیع بخش‌های مختلف پروتئین در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل (CNCPS) تعیین شد. علاوه‌بر این اثر پرتوتابی بر نحوه توزیع کربوهیدرات‌های دانه جو در این سیستم مورد مطالعه قرار گرفت.

یافته‌ها: تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج میزان ماده خشک، پروتئین خام، ماده‌آلی، الیاف محلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی ارقام مختلف دانه جو کاهش یافت به‌طوری که در مدت زمان ۶ دقیقه کمترین میزان ماده خشک، پروتئین خام، ماده‌آلی، الیاف محلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و چربی خام مربوط به رقم سهند بود. نتایج این آزمایش نشان‌دهنده تأثیر کاهنده و معنی‌دار پرتوتابی در زمان‌های مختلف بر میزان نشاسته و پروتئین قابل تجزیه مؤثر در شکمبه و وجود اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف مورد بررسی از این نظر بود. در بین ارقام مختلف مورد مطالعه، فراسنجه‌های

*مسئول مکاتبه: h.khalilvandi@urmia.ac.ir

1- Foss Auto analyzer 1030
2- Fibertech 1010Foss

مختلف تجزیه‌پذیری رقم جوی سهند بیش از سایر ارقام تحت تأثیر عمل‌آوری قرار گرفت. تفاوت بین ارقام مختلف در پاسخ به عمل‌آوری را می‌توان بازتابی از میزان پوسته، نشاسته و پروتئین خام و توزیع متفاوت نشاسته در بخش‌های مختلف دانه دانست. افزایش زمان پرتوتابی سبب افزایش تأثیرگذاری آن بر فراسنجه‌های مختلف موردارزیابی در ارتباط با تجزیه‌پذیری پروتئین خام و نشاسته شد. عمل‌آوری ارقام مختلف دانه جو با پرتوهای ریزموج سبب کاهش معنی‌دار میزان پروتئین محلول، کاهش نیتروژن غیرپروتئینی و افزایش در مقادیر پروتئین و نشاسته بالقوه قابل دسترس در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل شد. بااین‌حال، افزایش زمان پرتوتابی سبب افزایش مقادیر پروتئین متصل به دیواره سلولی و افزایش معنی‌دار پروتئین غیرقابل دسترس شد ولی تأثیری بر مقادیر نشاسته قابل دسترس نداشت. برخلاف نتایج آزمون سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل، پرتوتابی تأثیر منفی بر گوارش‌پذیری پس شکمبه‌ای پروتئین خام ارزیابی شده بر اساس روش سه مرحله‌ای آنزیمی نداشت ولی میزان گوارش‌پذیری نشاسته را تحت تأثیر قرار داد.

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تفاوت در پاسخ ارقام مختلف جو به پرتوتابی با امواج ریزموج و لزوم انجام آزمون درون‌تنی بود. به‌نظر می‌رسد بر اساس نتایج ارائه شده، بهترین پاسخ در تأثیرگذاری بر فراسنجه‌های ارزش غذایی در راستای بهبود تخمیر شکمبه‌ای، تجزیه‌پذیری پروتئین، نشاسته و افزایش مقادیر نشاسته و پروتئین گوارش‌پذیر ورودی به روده باریک را می‌توان مربوط پرتوتابی به‌مدت ۴ دقیقه در ارقام مختلف دانست.

واژه‌های کلیدی: پروتئین قابل‌متابولیسم، نشاسته، غلات، عمل‌آوری حرارتی، تجزیه‌پذیری، CNCPS

مقدمه

طی دهه‌های قبل، افزایش درآمد سرانه و افزایش سطح سواد و آگاهی مردم نسبت به نقش پروتئین‌های حیوانی در تغذیه و سلامت انسان، منجر به افزایش مصرف پروتئین حیوانی با تصاعد هندسی شده است. این‌درحالی است که تولید آن با تصاعد عددی افزایش پیدا کرده است (۱۴). جو یک غله با انرژی متوسط بوده و در مقایسه با ذرت و گندم، دارای مقادیر کم‌تر نشاسته، الیاف بیشتر و انرژی قابل متابولیسم کمتری بوده و مقدار پروتئین خام آن بین ۱۱ تا ۱۶ درصد ماده خشک متغیر است. مطالعات زیادی نشان داده است که استفاده از جو در جیره نشخوارکنندگان، باعث بهبود عملکرد می‌شود. یارمیسیو و همکاران (۱۹۹۱) گزارش کردند که استفاده از دانه جو در جیره گاوهای گوشتی و شیری، نرخ رشد و تولید شیر را افزایش می‌دهد. بررسی‌ها نشان داده است که بین ۸۰ درصد تا ۹۰ درصد از نشاسته جو در شکمبه تجزیه می‌گردد. در حالی‌که این میزان برای ذرت در حدود ۵۵ الی ۷۰ درصد است (۱۴). بنابراین به‌طور نسبی مقدار کمتری از جو نسبت به ذرت ممکن است به روده باریک برسد. در ضمن بالا بودن سرعت تخمیر نشاسته جو در شکمبه میزان بروز نفخ، اسیدوزیس، لنگش و آبسه‌های کبدی را افزایش می‌دهد (۶۰). عمل‌آوری خوراک یکی از عوامل مهم و مؤثر بر مصرف و قابلیت هضم خوراک است. عمل‌آوری و تغییر در اندازه ذرات خوراک می‌تواند بر برخی از صفات تولیدی و عملکردی دام و متابولیت‌های شکمبه تأثیر بگذارد (۱۲). عمل‌آوری غلات می‌تواند نرخ و میزان هضم مواد مغذی را بهبود بخشد (۲۶). عمده‌ترین ماده مغذی در دانه‌های غلات، نشاسته است. با توجه به این‌که تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه در بین انواع غلات متفاوت می‌باشد، به‌نظر می‌رسد که پاسخ به عمل‌آوری نیز در بین آن‌ها متفاوت باشد. این ناهمگنی می‌تواند به تفاوت در بخش‌های کریستالینه منابع نشاسته و یا ارتباط بین نشاسته و شبکه پروتئینی دربرگیرنده گرانول‌های

نشاسته مربوط گردد (۵۵). هدف اولیه در روش‌های مختلف عمل‌آوری غلات، فراهم نمودن دسترسی آنزیم‌های میکروبی به محتوای آندوسپرم دانه و افزایش میزان گوارش‌پذیری دانه تغذیه شده به حیوان است. با این‌حال، هدف عمده از عمل‌آوری غلات در تغذیه نشخوارکنندگان به‌ویژه گاوهای شیرده پر تولید، بهینه‌سازی مقادیر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته و پروتئین، افزایش قابلیت هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش و افزایش تجزیه‌پذیری الیاف در شکمبه است (۳۵). در برخی از روش‌های عمل‌آوری غلات، پوسته الیافی احاطه کننده سطح دانه که در برابر هضم میکروبی و آنزیمی در شکمبه مقاوم است، تا حدی از بین رفته و در نتیجه بخش نشاسته‌ای بیشتر در دسترس میکروب‌ها قرارگرفته و سبب افزایش نرخ هضم نشاسته در شکمبه می‌شود. اگرچه عمل‌آوری برای افزایش مصرف غلات در گاوهای شیری ضروری است اما در اثر عمل‌آوری بیش‌ازحد، تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه افزایش یافته که اغلب سبب کاهش مصرف خوراک در نشخوارکنندگان می‌شود (۵۷). بنابراین می‌توان گفت در برخی از نظام‌های عمل‌آوری غلات، هدف افزایش سرعت تخمیر در شکمبه است. در حالی‌که برخی دیگر از روش‌های عمل‌آوری با هدف کاهش تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه و افزایش ورود نشاسته قابل هضم به روده انجام می‌شود. هدف از عمل‌آوری غلات بهبود قابلیت دسترسی شکمبه‌ای انرژی و نشاسته از طریق افزایش مقدار هضم کربوهیدرات‌ها همراه با کنترل سرعت هضم آن‌ها است (۱۱). در حالت کلی، هدف نهایی از عمل‌آوری غلات افزایش میزان هضم نشاسته در کل دستگاه گوارش در کنار بهینه نمودن فرایند تخمیر، تجزیه‌پذیری و هضم نشاسته در بخش‌های مختلف دستگاه گوارش، کاهش خطر ابتلا به اسیدوز شکمبه‌ای و کاهش میزان ورود غلات قابل تخمیر هضم نشده به بخش‌های انتهایی دستگاه گوارش است (۲۹). باتوجه به بالاتر بودن سرعت تجزیه‌پذیری نشاسته جو در شکمبه در مقایسه با ذرت و افزایش احتمال خطر اسیدوز شکمبه‌ای در مواقع مصرف مقادیر بالای جو در جیره غذایی، روش‌های مختلف عمل‌آوری جو با هدف کاهش سرعت و مقادیر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای مؤثر نشاسته دانه جو توسعه یافته‌اند. باوجود مقادیر نه‌چندان زیاد پروتئین خام دانه جو، مقادیر بالای مصرف آن در قالب جیره‌های غذایی گاوهای شیری، سهم آن از تأمین پروتئین موردنیاز گاوهای شیری پرتولید را قابل توجه نموده است. بنابراین همزمان با توجه به تأثیر عمل‌آوری‌های مختلف بر تجزیه‌پذیری ماده خشک ونشاسته، توجه به فراسنجه‌های مرتبط با تجزیه‌پذیری و عبور پروتئین دانه جو اهمیت زیادی خواهد داشت. ارقام مختلف دانه‌های جو در جرم حجمی توده‌ای و محتوای شیمیایی (۸) و قابلیت تجزیه‌پذیری (۱۹) با یکدیگر تفاوت دارند. مواد خوراکی مختلف دارای ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی متفاوتی هستند و اثر متقابل این ویژگی‌ها در مورد استفاده قرار گرفتن آن‌ها نقش زیادی دارد. با این‌حال تحقیقات زیادی در ارتباط با تأثیر نوع رقم در پاسخ به عمل‌آوری‌های مختلف وجود ندارد. بیشتر روش‌های عمل‌آوری دانه‌های غلات مستلزم استفاده از حرارت، عوامل شیمیایی و یا ترکیبی از حرارت و عوامل شیمیایی است (۱۳). باوجود نتایج مختلف حاصل از روش‌های مختلف عمل‌آوری، عمده روش‌های عمل‌آوری غلات سبب بهبود ارزش غذایی، خوش‌خوراکی و گوارش پذیری آن‌ها شده و مقدار مصرف و ساختمان فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را در جهت مطلوب تغییر می‌دهد (۵). پرتوتابی دارای مزایایی از جمله عدم تغییر طعم و رنگ خوراک، کاهش قابل توجه عوامل بیماری‌زا و غیره نسبت به سایر روش‌هاست. هم چنین در روش پرتوتابی، کاهش کیفیت مواد مغذی بسیار کمتر از سایر روش‌هاست (۳). آب به‌دلیل داشتن طبیعت

دوقطبی، مولکول اصلی تحت تأثیر امواج به‌شدت شروع به چرخیدن می‌کند که این امر موجب زیاد شدن برخورد مولکول‌ها و در نهایت تولید گرما به‌صورت یکسان در سطح و درون ماده خوراکی می‌شود. در این روش به‌علت نفوذ امواج کوتاه در ساختارهای درونی مواد خوراکی حرارت یکنواخت ایجاد شده و به‌دلیل تبدیل شدن کامل انرژی الکترومغناطیس به حرارت، بازده این روش نزدیک به ۱۰۰ درصد است (۳۶). صادقی و شورنگ (۲۰۰۶) بیان کردند که مکانیسم حفاظتی پروتئین‌ها از تجزیه شکمبه‌ای در خوراک‌های عمل‌آوری شده توسط حرارت بسیار پیچیده بوده و ممکن است واکنش‌های شیمیایی از قبیل واکنش میلارد که در طول عمل‌آوری حرارتی ایجاد می‌شود، مسئول کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای باشد. این واکنش‌ها باعث تبدیل پروتئین خوراک به ترکیباتی مقاوم به تجزیه در شکمبه می‌شوند.

باوجود انجام تحقیقات قابل توجهی در خصوص اثر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ارزش غذایی دانه جو، تحقیقات بسیار کمی در خصوص اثر نوع واریته در پاسخ به عمل‌آوری وجود دارد. با این‌حال، گزارشی در ارتباط با نحوه پاسخ ارقام مختلف دانه جو به پرتوتابی با امواج ریزموج در خصوص ویژگی‌های هضمی نشاسته و پروتئین و خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی آن وجود ندارد. هدف از این پژوهش بررسی اثرات پرتوتابی ریزموج بر فراسنجه‌های ارزش غذایی نشاسته و پروتئین سه واریته معمول مورد مصرف جو در استان آذربایجان غربی در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از تکنیک کیسه‌های نایلونی و روش‌های مرجع آزمایشگاهی بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرا و حیوانات مورد استفاده در آزمایش: این پژوهش در ایستگاه آموزشی و تحقیقاتی و آزمایشگاه تغذیه دام گروه علوم دامی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه صورت گرفت. به‌منظور انجام آزمایش‌های مربوط به تجزیه‌پذیری از سه رأس گوساله نر اخته هلشتاین با میانگین وزن ۵±۵۲۰ کیلوگرم و ۴ ساله مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. جیره مصرفی با استفاده از نرم‌افزار (CNCPS V5) تنظیم و در سطح ۱۰ درصد بالاتر از نیاز انرژی نگهداری (AFRC, ۱۹۹۵)[1] در دو وعده برابر صبح و عصر در ساعات ۰۸۰۰ و ۱۸۰۰ در اختیار حیوانات قرار گرفت. جیره مصرفی شامل یونجه خردشده، ذرت علوفه‌ای سیلوشده و ترکیب کنسانتره‌ای با ۱۸ درصد پروتئین خام به نسبت ۱ به ۱ علوفه به کنسانتره بود. حیوانات در جایگاه انفرادی نگهداری شدند و آب و سنگ نمک در طول شبانه‌روز به‌صورت اختیاری در دسترس آن‌ها قرار گرفت.

تهیه نمونه آزمایشی و عمل‌آوری: سه رقم جو به اسامی بهمن‌آبی، سهند و ماکویی از مرکز تحقیقات اصلاح نهال و بذر کشور و کارخانجات خوراک دام استان‌های آذربایجان شرقی و غربی بر اساس روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده، تهیه شدند. از هر کارخانه حدود ۵ کیلوگرم نمونه تهیه شده و اندازه هرکدام از نمونه‌های تهیه شده پس از همگن‌سازی برابر با پنج کیلوگرم در نظر گرفته شد. به‌منظور انجام عمل‌آوری‌های مختلف، سه زیر نمونه از نمونه کلی به ازای هر روش عمل‌آوری تهیه و به‌عنوان تکرار آزمایشی مورد استفاده قرار گرفت.

هریک از نمونه‌های خوراکی در ایستگاه پژوهشی گروه علوم دامی دانشگاه ارومیه با آسیاب چکشی با غربال دو میلی‌متری آسیاب شده و برای انجام پرتوتابی، و میزان رطوبت نمونه‌های آسیاب شده (با احتساب ماده خشک نمونه‌ها) با افزودن آب دیونیزه

1- AFRC (Agriculture and Fisheries Research Council)

به ۲۵ درصد افزایش یافته و به‌مدت ۲، ۴ و ۶ دقیقه در داخل محفظه ریزموج با قدرت ۹۰۰ وات و فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز به روش پیشنهادی پرند و تقی‌زاده (۲۰۱۱) پرتوتابی شدند.

ترکیب شیمیایی: کلیه نمونه‌ها به‌منظور تعیین ترکیب شیمیایی با آسیاب آزمایشگاهی با الک ۱ میلی‌متری آسیاب و غلظت ماده خشک، ماده آلی، پروتئین خام (دستگاه‌های کجلدال[1]) و عصاره اتری با استفاده از روش‌های استاندارد AOAC (۲۰۰۰) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (سیستم آنکوم[2]) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با روش ون سوست و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری (سه تکرار) شد.

خصوصیات فیزیکی

جرم حجمی توده‌ای[3]: جرم حجمی عبارت است از وزن ماده به حجم آب جایگزین شده با آن. جرم حجمی توده‌ای نیز معادل با وزن نمونه (میلی‌گرم) بر حجم اشغال شده (میلی لیتر) است. جرم حجمی توده‌ای با روش مونتگومری و بومگارد (۳۳) اندازه‌گیری شد. یک استوانه مدرج به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر با نمونه (آسیاب شده با الک ۱ میلی‌متری) خشک شده در آون تا حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر پر شد و به‌مدت ۵ ثانیه چرخانده و حجم و وزن نهایی اندازه‌گیری شد (جرم حجمی ۱۰۰ میلی‌لیتر).

ظرفیت نگهداری آب[4]: برای اندازه‌گیری ظرفیت نگهداری آب از روش فیلترکردن استفاده گردید (۴۰). مقدار ۲/۵ گرم نمونه (آسیاب شده با الک ۱ میلی‌متری) به‌مدت ۲۴-۱۶ ساعت در ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر خیسانده شد سپس نمونه با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۱ صاف گردید. وزن نمونه‌تر پس از سپری شدن ۱۰ دقیقه ثبت گردید (۲۰).

قابلیت انحلال ماده خشک و خاکستر: نمونه صاف شده که پس از عبور از صافی جمع‌آوری شده بود به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۳ درجه در آون خشک، توزین و سپس در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد خاکسترگیری شد. در نهایت میزان حلالیت ماده خشک، خاکستر و ماده‌آلی به‌صورت درصدی از وزن اولیه نمونه محاسبه شد (۲۰).

تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام و نشاسته: به‌منظور تعیین ضرایب تجزیه‌پذیری ماده خشک، پروتئین خام و نشاسته نمونه‌ها، قبل و پس از عمل‌آوری از ۳ رأس گوساله نر فیستوله‌گذاری شده نژاد هلشتاین بر اساس روش استاندارد شده ونزانت و همکاران (۵۹) استفاده شد. برای تعیین میزان تجزیه‌پذیری از کیسه‌های پلی‌استر با ابعاد ۸×۱۸ سانتی‌متر، با قطر منافذ ۵۰ میکرومتر استفاده شد. مقدار ۵ گرم از نمونه‌های آسیاب شده (با قطر توری ۲ میلی‌متر) در داخل کیسه‌های نایلونی ریخته شد تا نسبت اندازه نمونه به سطح کیسه‌ها، برابر با ۱۲/۵ میلی‌گرم به ازای هر سانتی‌متر مربع شود. نمونه‌ها پیش از توزین، به‌منظور زدودن ذرات کمتر از ۵۰ میکرون با استفاده از الک با توری ۵۰ میکرون الک شدند. زمان قرار دادن نمونه‌ها در شکمبه بلافاصله قبل از خوراک‌دهی صبح بود و کیسه‌ها در زمان‌های ۰، ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت از شکمبه خارج شدند. چهار کیسه برای هر زمان انکوباسیون در شکمبه هر گاو قرار گرفت. کیسه‌ها بلافاصله پس از خارج شدن از شکمبه در آب سرد قرار داده‌شده و با دست به‌روش پیشنهادی کوبلنتز و همکاران (۱۹۹۷) به‌مدت ۲۰ دقیقه و تا صاف شدن آب خروجی از سطل، شستشو شدند. برای تعیین تجزیه‌پذیری در زمان صفر، کیسه‌ها بدون انکوباسیون در شکمبه همانند کیسه‌های خارج شده از شکمبه شسته شدند.

1- Foss Auto analyzer 1030
2- Fibertech 1010Foss
3- BD (Bulk dencity100)
4- WHC (Water holding capacity)

کیسه‌ها پس از شستشو، به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۶۰ درجه سیلسیوس خشک شدند. به‌منظور اطمینان از عدم وجود تأثیر تغییرات روزانه در ترکیب مایع شکمبه و مقادیر تجزیه‌پذیری فرایند انکوباسیون کیسه‌ها در دو هفته متوالی تکرار شد. مقادیر پروتئین خام و نشاسته در نمونه‌های پیش و پس از انکوباسیون به‌ترتیب با استفاده از سیستم کجلدال (۱) و هضم اسیدی و استفاده از آنترون اندازه‌گیری شد (۴۴). فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و میزان تجزیه‌پذیری مؤثر در سرعت‌های مختلف عبور از شکمبه با استفاده از معادلات غیرخطی ارسکف و مک دونالد (۱۹۷۹) و مک دونالد (۱۹۸۱) با استفاده از PROC NLIN نرم‌افزار آماری SAS ۹/۴ تعیین شدند. به‌منظور برآورد مقادیر پروتئین قابل‌تجزیه سریع در شکمبه، پروتئین قابل‌تجزیه آهسته در شکمبه، پروتئین قابل‌تجزیه مؤثر در شکمبه، کل پروتئین قابل‌تجزیه در شکمبه و پروتئین غیر قابل‌تجزیه در شکمبه از معادلات AFRC (۱۹۹۵) با استفاده از نرم‌افزار کمکی اکسل تعیین شدند.

سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل و میزان گوارش‌پذیری روده‌ای پروتئین خام به‌منظور ارزیابی اثر عمل‌آوری بر توزیع نیتروژن در سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل از روش استاندارد شده لیسترا و همکاران (۱۹۹۶) استفاده شد. بخش نیتروژن غیرپروتئینی با استفاده از تری کلرواستیک اسید و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با روش ون‌سوست و همکاران (۱۹۹۱) با استفاده از آنزیم آلفا- آمیلاز مقاوم به حرارت، بدون استفاده از سدیم سولفیت و با استفاده از دستگاه خودکار آنکوم تعیین شدند. بقایای نیتروژنی موجود در الیاف نامحلول در شوینده خنثی[3] و اسیدی[4] با روش کجلدال تعیین و در محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند. به‌منظور تعیین میزان گوارش‌پذیری روده‌ای پروتئین خام و نشاسته از روش گارگالو و همکاران (۲۰۰۶) پس از ۱۲ ساعت انکوباسیون شکمبه‌ای استفاده شد. نمونه‌ها پس از انکوباسیون شکمبه‌ای به‌ترتیب به‌مدت یک ساعت در حمام آبی ۳۹ درجه سانتی‌گراد تحت تأثیر پپسین (Sigma p-۷۰۰۰) و پانکراتین محلول در بافر فسفات هیدروژن پتاسیم (Sigma P-۷۵۴۵) قرار گرفتند. مشخصات کیسه‌های مورد استفاده در این آزمایش مشابه با موارد ارائه شده در بخش تجزیه‌پذیری بود. میزان نیتروژن و نشاسته در بقایای هضمی به‌ترتیب با استفاده از دستگاه کجلدال و هضم اسیدی و آنترون تعیین و مقادیر گوارش‌پذیری روده‌ای پروتئین خام و نشاسته تعیین شد. داده‌های مربوط به تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری بر ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری، بخش‌های مختلف پروتئین خام با روش تجزیه‌پذیری و ضرایب گوارش‌پذیری روده‌ای نشاسته و پروتئین خام با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور اثر رقم جو و اثر زمان پرتوتابی ریزموج مورد ارزیابی آماری قرار گرفت. در این ارتباط اثر دام به‌عنوان بلوک مورد استفاده قرار گرفت (۳۰) ولی به‌دلیل عدم معنی‌داری و تأثیر بر شاخصه‌های آنالیز از مدل آماری نهایی حذف شد. به‌منظور ارزیابی آماری این داده‌ها به استثنای داده‌های کنتیک از رویه مدل خطی تعمیم‌یافته[1] (GLM) نرم‌افزار SAS ۹/۴ (۲۰۰۲) استفاده شد. میانگین حداقل مربعات تیمارها در رویه GLM با استفاده از تصحیح توکی و در سطح احتمال آماری ۹۵ درصد (P<۰/۰۵) باهم مقایسه شدند. برای تعیین تمایل میانگین‌ها به تغییر در صورت معنی‌دار نبودن، از سطح آماری ۹۰ درصد (P<۰,۱) استفاده شد. در آنالیز کنتیکی فرایند تجزیه‌پذیری، اثر زمان انکوباسیون (ساعت) به‌عنوان عامل تکرارشونده واثر

1- Generalized Linear Model (GLM)

متقابل زمان انکوباسیون و نوع عمل‌آوری به مدل آماری افزوده شده و آنالیز آماری با استفاده از رویه مختلط نرم‌افزار SAS ۹/۴ انجام و از ساختار کواریانس نوع اول[1] استفاده شد. داده‌ها به‌صورت میانگین حداقل مربعات و خطای استاندارد[2] مربوطه در گزارش شده و تصحیح داده‌ها با استفاده از آزمون توکی و مقایسه میانگین‌ها با گزینه PDIFF در سطح احتمال آماری ۹۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی: تغییرات ترکیب شیمیایی و خصوصیات فیزیکی دانه جو در اثر عمل‌آوری به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ نشان شده است. تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج میزان ماده خشک، پروتئین خام، ماده‌آلی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی ارقام مختلف دانه جو کاهش (P<۰/۰۵) یافت به‌طوری که در مدت زمان ۶ دقیقه کمترین میزان ماده خشک، پروتئین خام، ماده‌آلی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و چربی خام مربوط به رقم سهند بود. علاوه‌بر این در مقایسه‌های آماری اثر رقم، اثر عمل‌آوری و اثر متقابل رقم و عمل‌آوری ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) مشاهده شد. با این‌حال عمل‌آوری منجر به ایجاد تغییر معنی‌دار در میزان نشاسته موجود در ترکیب دانه جو نشد. کادلک و همکاران (۲۰۰۲) افزایش میزان ماده خشک در اثر پرتوتابی ریزموج را به‌علت خشک شدن اولیه مواد آزمایشی در محفظه ریزموج دانسته‌اند. شمعی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که پرتوتابی ریزموج باعث افزایش ماده خشک ضایعات لپه پاک کنی شد به‌طوری‌که بیشترین مقدار در تیمار ۷ دقیقه مشاهده شد. تفاوت در محتوای ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌های سویای عمل‌آوری شده با اکسترود و برشته کردن به تفاوت در روش عمل‌آوری و اثر حرارت بر تبخیر آب موجود در دانه سویاست. همچنین در اثر حرارت تشکیل کمپلکس پروتئینی با سایر محتویات دانه شده و لذا کاهش میزان ماده خشک در ارتباط با کاهش میزان پروتئین خام خواهد بود (فتاح‌نیا و همکاران، ۲۰۱۴). تأثیر حرارت دادن در میزان پروتئین خام بستگی به میزان رطوبت دانه و دمای مورد استفاده و مدت زمان عمل‌آوری دارد (برودریک و همکاران، ۱۹۹۹). پژوهشگران گزارش کردند که پرتوتابی بر ترکیبات شیمیایی برخی منابع پروتئین گیاهی تغییر معنی‌داری ندارد (طحان و همکاران، ۲۰۱۲؛ ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۰). شورنگ و همکاران (۲۰۱۳) عدم تغییر در میزان ماده خشک، پروتئین خام، چربی، نشاسته و بتاگلوگان جو در اثر پرتوتابی دانه جو در زمان‌های مختلف را گزارش نمودند. با این‌حال برخی از محققین توانایی امواج ریزموج در حذف آب به‌خصوص آب درون سلولی و درون مولکولی را محدود ارزیابی نموده‌اند (طباطبائی و همکاران، ۲۰۱۵). گزارش شده است که اغلب پرتوهای تابیده شده در این روش، به قسمت‌های سطحی خوراک بوده و حرارت کمتری به قسمت داخلی دانه نفوذ کرده در نتیجه میزان تبخیر و خروج رطوبت از ماده خوراکی کاهش یافته و بنابراین میزان ماده خشک هم کاهش می‌یابد. از طرفی چون در اثر عمل‌آوری حرارتی کمپلکس پروتئینی مقاوم ناشی از دناتوره شدن ساختار پروتئین با سایر قسمت‌های مختلف دانه تشکیل شده و می‌توان کاهش ماده خشک را به کاهش میزان پروتئین خام ارتباط داد. همچنین از دلایل دیگر اختلاف در نتایج را می‌توان متفاوت بودن شرایط و میزان رطوبت‌دهی ماده خوراکی قبل از پرتوتابی را بیان کرد.

1- First order autoregressive
2- NDIN

در سیستم‌های حرارتی مرسوم حرارت غالباً از سطح به داخل خوراک نفوذ کرده و در نتیجه قسمت بیرونی (در اثر حرارت بیش از حد) اغلب پخته شده و قسمت داخلی به‌صورت خام باقی می‌ماند (۶۴) در رابطه با بررسی پرتوتابی ریزموج در جهت تغییر ساختار ذاتی مولکول پروتئین خوراک کمپلکس پروتئینی در معرض خطرات عمل‌آوری حرارتی قرار گرفته که منجر به تشکیل پیوندهای مضاعف با سایر محتویات گیاهی اعم از لیگنین، تانن و محصولات واکنش میلارد می‌شود. پرتوتابی ریزموج منجر به ایجاد تغییرات فیزیکی در ساختار پروتئین و اتصال آن با سایر اجزای خوراک می‌شود جو پوسته‌دار و بدون پوسته می‌گردد و در نتیجه سبب تغییر ارزش غذایی پروتئین می‌شود (۶۴). افزایش در مقادیر الیاف نامحلول در شوینده خنثی در اثر عمل‌آوری ریزموج پیش از این توسط سایر محققین گزارش شده است (۵۱). بالدوین و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که گرانول‌های کوچک نشاسته در مقایسه با گرانول‌های بزرگ دارای مقدار لیپید بیشتری هستند و بنابراین عمده لیپیدها در سطح قرارگرفته‌اند که مقدار پروتئین به طرف سطح بیرونی گرانول‌های نشاسته افزایش می‌یابد. پیش از این قلی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند مرحله برداشت و بوجاری کردن نیز می‌تواند میزان دیواره سلولی را تحت تأثیر قرار دهد. هر گونه آلودگی دانه‌ها با کاه و کلش می‌تواند برآورد بالایی از الیاف خام را منجر شود. ترکیب شیمیایی ارقام جو احتمالاً به‌دلیل تفاوت در نوع رقم، شرایط محیط رشد و میزان تولید دانه باشد. با استناد به این تفاسیر می‌توان علت کاهش میزان ماده خشک، پروتئین خام، ماده‌آلی، چربی خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و شوینده اسیدی تحت تأثیر عمل‌آوری ریزموج را به‌دلیل محصور بودن محتویات مواد مغذی دانه جو در ساختار اندوسپرم و ترکیب آن با گرانول‌های نشاسته دانست. علاوه‌بر این کاهش در نتیجه اثرات مخرب عمل‌آوری حرارتی که منجر به واکنش میلارد و تشکیل ماتریکس پروتئینی مقاوم و پیوندهای مضاعف با اجزای دیواره سلولی و لیپیدهای گیاهی رخ داده است. تفاوت در اثر رقم می‌توان مربوط به تفاوت در ترکیبات مواد مغذی دانه جو بسته به ارقام، کوددهی، رشد، برداشت و ذخیره‌سازی دانست به‌طوری که دانه‌هایی با پوسته مقاوم‌تر بیشتر تحت تأثیر می‌گیرند. تفاوت در نتایج گزارش شده احتمالاً به‌دلیل تفاوت در نوع ارقام (پوشینه و غیرپوشینه)، شرایط محیطی، مرحله برداشت و روش اندازه‌گیری باشد. ارقام جو بدون پوشینه در مقایسه با ارقام پوشینه‌دار پروتئین خام بیشتر و الیاف خام کمتری دارند، همچنین ارقام سردسیر در مقایسه با ارقام گرمسیر نشاسته و دیواره سلولی بیشتری دارند (۱۷).

علی‌رغم عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین انواع رقم‌ها، انواع عمل‌آوری‌ها و پاسخ رقم به عمل‌آوری در ارتباط با جرم حجمی توده‌ای، پرتوتابی باعث افزایش غیرمعنی‌دار ظرفیت نگهداری آب در ارقام مورد بررسی دانه جو شد. با این‌حال، تفاوت آماری معنی‌داری بین ارقام مختلف مورد بررسی و پاسخ آن‌ها به عمل‌آوری وجود داشت (جدول ۲). جرم حجمی توده‌ای و ظرفیت نگهداری آب با تعیین جایگاه استقرار مواد خوراکی در شکمبه می‌توانند فرایند هضم و تخمیر را تحت تأثیر قرار دهند (۲۰). مقادیر گزارش شده در این مطالعه در ارتباط با جرم حجمی توده‌ای دانه جو در ارقام مختلف مطابق با گزارش گیگر- ریوردین (۲۰۰۰) بوده ولی کمتر از مقادیر گزارش شده توسط عبدی و همکاران (۲۰۱۱) بود. تفاوت در شرایط مختلف کشت و عوامل مختلف محیطی از جمله از جمله روش‌های آبیاری و دما و تغییرات ترکیب شیمیایی و میزان پوسته را می‌توان از

مهمترین دلایل بروز این تفاوت‌ها دانست. پرتوتابی ریزموج باعث کاهش غیرمعنی‌دار قابلیت انحلال ماده خشک و خاکستر در ارقام مورد بررسی شد. با این‌حال تفاوتی بین ارقام مختلف از نظر پاسخ به عمل‌آوری در ارتباط با این فراسنجه‌ها وجود نداشت. تعیین قابلیت انحلال می‌تواند تخمینی از قابلیت دسترسی مواد مغذی را فراهم آورد. کاهش نسبی قابلیت انحلال در اثر عمل‌آوری حرارتی را می‌توان بازتابی از اثر عمل‌آوری‌های حرارتی در کاهش دسترسی موادمغذی به‌دلیل شکل‌گیری ساختارهایی مقاوم به هضم دانست (۵۶).

جدول ۱: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر ترکیب شیمیایی دانه جو (درصد ماده خشک).

Table 1. The effects of microwave irradiation and variety on chemical composition of barley grain.

الیاف نامحلول در شوینده خنثی (^{2}NDF)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (^{1}ADF)	چربی خام Ethere) (Extract	پروتئین خام Crude) (Protein	نشاسته (Starch)	ماده آلی Organic) (Mater	ماده خشک (Dry Mater)	پرتوتابی (دقیقه) Irradiation (min)	ارقام (Variety)
19.94	6.92	1.91	12.03	56.26	97.23	89.90	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
18.71	6.80	1.87	11.63	55.41	96.35	87.16	2	
18.42	6.53	1.78	11.25	56.67	95.53	85.23	4	
18.21	6.41	1.53	10.75	56.42	96.16	82.68	6	
19.92	7.10	2.07	12.10	56.54	97.07	90.17	0	ماکوئی (Makoei)
19.16	6.92	1.95	11.16	56.19	96.08	88.40	2	
18.74	6.78	1.80	10.85	56.17	95.33	83.87	4	
18.46	6.55	1.64	10.52	56.62	95.30	81.43	6	
19.95	7.22	1.91	11.96	56.22	97.23	90.16	0	سهند (Sahand)
19.50	7.08	1.85	10.96	56.13	96.18	86.75	2	
18.92	6.89	1.66	10.42	56.87	95.60	83.12	4	
18.52	6.67	1.46	10.08	56.26	95.26	80.15	6	
0.430	0.032	0.015	0.030	0.864	0.143	0.191	SEM	
							P values	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.694	0.393	<0.0001	Variety	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.221	<0.0001	<0.0001	Processing	
<0.0001	0.539	0.0007	<0.0001	0.664	0.803	<0.0001	Variety * Processing	

1 Acid detergent fiber, 2 Neutral detergent fiber

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک، پروتئین خام و نشاسته: اثر عمل‌آوری بر کنتیک و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام ارقام مختلف دانه جو به‌ترتیب در جداول ۳، ۴، ۵ و ۶ آورده شده است. تجزیه واریانس نشان داد پرتوتابی ریزموج با افزایش زمان انکوباسیون سبب کاهش معنی‌دار کنتیک تجزیه‌پذیری ماده خشک ارقام مختلف دانه جو (بهمن آبی، ماکوئی و سهند) شد (P<۰/۰۵). تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) در بین ارقام مختلف دانه جو به لحاظ کاهش کنتیک تجزیه‌پذیری ماده خشک در ساعات مختلف انکوباسیون مشاهده شد. عمل‌آوری حرارتی در تمام سطوح سبب کاهش قابل ملاحظه بخش محلول، افزایش بخش بالقوه قابل تجزیه و سرعت تجزیه‌پذیری ماده خشک تمام ارقام دانه جو شد. تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک در کلیه نرخ‌های عبور کاهش یافت (P<۰/۰۵).

جدول ۲: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر خصوصیات فیزیکی دانه جو.

Table 2. Effects of Microwave irradiation and variety on physical characteristics of barley grain.

AS[4] (gr.gr DM)	DS[3] (gr.gr DM)	BD_{100}[2] (gr.ml DM)	WHC[1] (gr.gr DM)	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	ارقام (Variety)
0.93	0.40	0.58	1.50	0	
0.92	0.40	0.57	1.59	2	بهمن آبی
0.91	0.40	0.57	1.86	4	(Bahman Abi)
0.89	0.39	0.55	1.94	6	
0.97	0.43	0.59	2.23	0	
0.95	0.43	0.58	2.35	2	ماکوئی
0.94	0.42	0.57	2.46	4	(Makoei)
0.93	0.41	0.58	2.57	6	
0.93	0.39	0.57	1.79	0	
0.96	0.37	0.55	1.78	2	سهند
0.93	0.34	0.59	1.77	4	(Sahand)
0.91	0.35	0.57	1.72	6	
0.083	0.064	0.041	0.113	SEM	
				P values	
0.381	0.121	0.283	<0.01	Variety	
0.552	0.215	0.321	0.085	Processing	
0.495	0.332	0.711	0.041	Variety * Processing	

1-Water holding capacity, 2- Bulk dencity$_{100}$, 3- Dry matter solubility 4- Ash solubility.

به‌طوری که بیشترین میزان کاهش در نرخ عبور (۰/۰۸) در ساعت برای رقم جو سهند مشاهده شد. داده‌های مربوط به اثر عمل‌آوری و اثر متقابل رقم و عمل‌آوری برای تمامی فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری اختلاف معنی‌داری را نشان داد. طبق نتایج به‌دست آمده، افزایش ساعات انکوباسیون پرتوتابی ریزموج منجر به کاهش معنی‌دار کنتیک تجزیه‌پذیری پروتئین ارقام مختلف دانه جو (بهمن آبی، ماکوئی و سهند) شد ($P<۰/۰۵$). مقایسه‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P<۰/۰۵$) بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر کنتیک تجزیه‌پذیری پروتئین دانه‌های جو است. مقایسه میانگین سطوح مختلف عمل‌آوری ریزموج نشان داد که عمل‌آوری به‌مدت ۶ دقیقه بیشترین تأثیر را بر کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین دارد و در مقایسه با زمان‌های دیگر عمل‌آوری به‌مدت ۶ دقیقه نتیجه بهتری دارد. عمل‌آوری ارقام جو با ریزموج به‌مدت ۶ دقیقه در مقایسه با سایر زمان‌ها کاهش بخش محلول، افزایش بخش بالقوه قابل تجزیه و کاهش سرعت تجزیه‌پذیری بخش بالقوه قابل تجزیه شد. میزان تجزیه‌پذیری مؤثر در اثر پرتوتابی ریزموج در ارقام جو (بهمن آبی، ماکوئی و سهند) روند کاهشی داشت ($P<۰/۰۵$). درواقع علت کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در هر سه رقم دانه جو تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج را می‌توان ناشی از حرارت ایجاد شده طی این عمل‌آوری دانست. حرارت سبب دناتوره شدن ساختار پروتئین شده و با تغییر ساختار مولکولی ماتریکس پروتئینی دانه جو قابلیت دسترسی آن توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه را کاهش داده و احتمالاً سبب کاهش حلالیت و قابلیت تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین دانه جو می‌شود (۳۷). دانه جو غله‌ای است که در ساختارش حاوی مقادیر زیادی الیاف در قالب پوشینه می‌باشد (۶۶). باتوجه به سرعت بالای تجزیه پوشینه جو در شکمبه، معمولاً مقدار پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه جو پایین گزارش می‌شود (۱۱؛ ۳۸). حرارت سبب کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام به‌وسیله تغییر ساختار مولکولی و ساختار حلقوی و تاخوردگی و دناتوره شدن مولکول‌های پروتئین می‌شود (۳۷). پرتوتابی ریزموج به‌مدت ۵ دقیقه سبب کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر شکمبه‌ای پروتئین خام و افزایش

میزان پروتئین عبوری در اثر کاهش میـزان بخـش بـا تجزیه‌پذیری سریع و افزایش بخش بـا تجزیه‌پـذیری آهسته می‌شود (۶۴). تصور براین اسـت کـه حـرارت ناشـی از فراینـد پرتوتـابی سـبب کـاهش پیونـدهای آمیدی، کاهش حلالیت پروتئین و کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پـروتئین می‌شـود. سـاختمان دوم پـروتئین عملکرد آنزیم‌های گوارشی دستگاه گوارش را تحـت تأثیر قرار می‌دهد (۶۸، ۱۸، ۱۱).

جدول ۳: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر کنتیک تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو.

Table 3. Effects of Microwave irradiation and variety on on dry matter degradability kinetics of barley grain.

زمان انکوباسیون (ساعت) Incubation Time (hour)						پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
48	24	12	8	4	2		
93.58	91.81	84.31	75.08	54.62	47.20	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
92.76	89.01	79.21	68.49	54.44	47.03	2	
90.59	87.19	74.30	66.13	54.82	36.87	4	
90.53	85.26	73.5	65.69	47.44	30.17	6	
95.13	88.21	73.97	63.42	47.12	39.30	0	ماکوئی (Makoei)
94.77	86.59	72.57	60.48	46.52	35.86	2	
93.41	87.63	69.50	58.39	42.62	31.18	4	
93.06	84.12	67.53	58.24	41.94	30.32	6	
95.29	90.75	78.61	68.17	50.58	37.69	0	سهند (Sahand)
93.91	88.62	74.54	64.01	47.69	36.38	2	
93.62	86.37	70.78	60.10	44.42	36.00	4	
92.87	83.89	66.17	56.24	43.19	35.20	6	
0.914	1.033	1.711	1.922	2.021	2.283	SEM	
						P values	
0.0034	0.0907	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0025	Variety	
0.0145	0.0006	0.0002	0.0041	0.0213	0.0001	Processing	
0.8584	0.0016	0.0009	0.0063	0.1788	0.0273	Variety * Processing	

a: بخش سریع تجزیه b: بخش کند تجزیه، c: سرعت تجزیه‌پذیری (ساعت) ED: تجزیه‌پذیری مؤثر.

جدول ٤: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو.

Table 4. Effects of Microwave irradiation and variety on dry matter degradability parameters of barley grain.

فراسنجه‌ها parameters						پرتوتابی (دقیقه) Irradiation (min)	رقم (Variety)
ED0.08	ED0.05	ED0.03	c (%h^{-1})	b (%)	a (%)		
68.56	75.76	85.00	0.085	52.90	38.40	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
67.30	73.73	83.83	0.091	56.19	38.19	2	
66.46	72.46	81.70	0.168	62.50	30.72	4	
63.26	71.13	81.60	0.193	67.47	28.17	6	
63.10	70.96	83.53	0.065	66.95	31.08	0	ماکوئی (Makoei)
61.23	69.06	82.36	0.091	72.09	21.83	2	
59.93	68.66	81.76	0.107	77.98	18.19	4	
59.66	68.10	81.26	0.108	78.47	15.14	6	
66.20	73.73	84.30	0.067	71.78	26.04	0	سهند (Sahand)
63.62	71.37	82.85	0.091	72.14	22.38	2	
60.75	68.85	81.73	0.111	72.22	21.38	4	
59.13	67.50	81.15	0.129	73.12	20.94	6	
1.452	1.211	0.880	0.009	3.332	3.251	SEM	
						P values	
<0.0001	0.0003	0.2607	<0.0001	0.1865	0.2436	Variety	
0.0213	0.0298	0.0977	<0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
0.0983	0.0429	0.1090	<0.0001	0.0002	0.0002	Variety * Processing	

جدول ۵: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر کنتیک تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه جو.

Table 5. Effects of Microwave irradiation and variety on crude protein degradability kinetics of barley grain.

زمان انکوباسیون (ساعت) Incubation Time (hour)						پرتوتابی (دقیقه) Irradiation (min)	رقم (Variety)
48	24	12	8	4	2		
94.80	91.36	81.44	74.04	62.61	54.75	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
84.14	81.43	68.47	51.79	38.12	33.02	2	
79.51	78.14	64.56	48.10	36.51	31.41	4	
70.85	64.49	47.56	33.31	26.75	20.29	6	
94.74	90.50	79.17	67.41	57.10	51.07	0	ماکوئی (Makoei)
82.54	78.20	62.98	49.41	32.24	28.33	2	
78.57	74.73	60.20	43.35	31.15	27.62	4	
74.53	70.65	55.71	40.63	29.18	22.94	6	
95.75	90.50	78.29	67.63	54.09	46.52	0	سهند (Sahand)
83.52	78.77	63.27	48.76	39.51	36.19	2	
78.44	74.46	59.05	43.32	36.18	30.72	4	
74.60	70.23	54.71	39.47	29.12	26.14	6	
1.252	1.232	1.581	1.963	2.441	1.711	SEM	
						P values	
0.2901	0.8778	0.4943	0.3674	0.3786	0.0450	Variety	
0.0004	0.0004	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
0.0087	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0011	Variety * Processing	

جدول ٦: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه جو.

Table 6. Effects of Microwave irradiation and variety on CP degradability parameters of barley grain.

فراسنجه‌ها (parameters)						پرتوتابی (دقیقه) Irradiation (min)	رقم (Variety)
ED0.08	ED0.05	ED0.3	c (%h^{-1})	b (%)	a (%)		
76.96	81.71	88.88	0.108	50.09	44.98	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
68.78	72.52	79.18	0.098	67.74	18.52	2	
67.27	70.20	75.95	0.096	64.22	17.86	4	
64.03	65.35	68.98	0.068	63.45	11.09	6	
74.84	79.89	88.07	0.091	55.11	40.93	0	ماکوئی (Makoei)
67.57	70.90	77.37	0.093	70.85	13.65	2	
66.26	68.88	74.64	0.085	67.05	14.21	4	
65.15	67.06	71.51	0.088	66.24	10.59	6	
74.84	79.99	88.48	0.097	61.44	35.02	0	سهند (Sahand)
67.57	71.00	78.17	0.074	61.43	25.31	2	
65.95	68.58	74.34	0.076	61.34	20.26	4	
64.94	66.96	71.61	0.077	63.39	14.35	6	
1.081	1.135	1.216	0.006	2.135	1.218	SEM	
						P values	
0.6672	0.7684	0.5078	0.2077	0.0462	0.0373	Variety	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0004	0.0961	0.0527	Variety * Processing	

اثر عمل‌آوری بر کنتیک و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری نشاسته ارقام مختلف دانه جو به ترتیب در جداول ۷ و ۸ آورده شده است. براساس نتایج حاصل با افزایش ساعات انکوباسیون پرتوتابی ریزموج منجر به کاهش معنی‌داری (P<۰/۰۵) بر کنتیک تجزیه‌پذیری نشاسته ارقام مختلف دانه جو شد. مقایسه‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر کنتیک تجزیه‌پذیری نشاسته دانه‌های جو است. اثر معنی‌دار عمل‌آوری (P<۰/۰۵)

در زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری نشاسته برای ارقام مختلف دانه جو مشاهده شد. مقایسه میانگین سطوح مختلف عمل‌آوری ریزموج نشان داد که عمل‌آوری به‌مدت ۶ دقیقه بیشترین تأثیر را بر کاهش تجزیه‌پذیری نشاسته دارد و در مقایسه با زمان‌های دیگر عمل‌آوری به‌مدت ۶ دقیقه نتیجه بهتری دارد. عمل‌آوری ارقام جو با ریزموج به‌مدت ۶ دقیقه در مقایسه با سایر زمان‌ها کاهش بخش محلول، افزایش بخش بالقوه قابل تجزیه، افزایش سرعت تجزیه‌پذیری بخش بالقوه قابل تجزیه شد. میزان تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۰۸) در ارقام جو (بهمن آبی، ماکوئی و سهند) روند کاهشی ($P<0/05$) داشت. تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج دانه جو احتمالاً براساس حرارت تولیدی سبب ایجاد واکنش میلارد و دناتوره شدن ساختار پروتئین‌ها و ایجاد ماتریکس پروتئینی مقاوم در برابر هیدرولیز آنزیمی و عدم اتصال میکروارگانیسم‌های شکمبه به ماده خوراکی شده و در نتیجه به‌دلیل محصور شدن گرانول‌های نشاسته دانه جو در ماتریکس پروتئینی حرارت سبب عدم شکسته شدن پیوندهای پپتیدی و عدم دسترسی نشاسته و سایر مواد مغذی خوراک توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه شده و در نتیجه منجر به کاهش تجزیه پذیری شکمبه‌ای نشاسته می‌شود. همچنین پرتوتابی ریزموج به‌دلیل تغییر ساختار مولکول‌های نشاسته سبب کریستاله شدن آن‌ها شده و به این ترتیب منجر به کاهش حلالیت آن و کاهش بخش محلول می‌شود (۴۹).

در پژوهشی تحت تأثیر تیمار حرارتی کاهش در میزان تجزیه‌پذیری در رقم جو سهند بیشتر از رقم جو ماکوئی بود که احتمالاً این تأثیر به ساختار سلولی ارقام مربوط می‌شود (۴۹). برخی از عمل‌آوری‌های حرارتی دانه‌های غلات منجر به تغییر ساختار فیزیکی و شیمیایی گرانول‌های نشاسته شده و با شکستن پیوندهای هیدروژنی و جذب آب سبب ژلاتینه شدن آن‌ها شده و قابلیت دسترسی آن‌ها برای تجزیه و تخمیر توسط میکروارگانیسم‌ها را افزایش می‌دهد. از طرفی تشکیل اتصالات عرضی بین اسیدهای آمینه و قندهای احیا (واکنش میلارد) و یا اتصالات بین پروتئین‌ها (پیوندهای ایزو- پپتید) (۲۳) و واسرشتی پروتئین‌ها می‌تواند مسئول کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین و نشاسته خوراک تحت تأثیر تیمار حرارتی باشد (۱۵). تغییر در قابلیت هضم پروتئین می‌تواند سبب تغییر خصوصیات هضمی نشاسته نیز شود زیرا گرانول‌های نشاسته دانه جو در یک شبکه پروتئینی قرار دارد و تیمار حرارتی دانه جو سبب کاهش قابلیت هضم نشاسته از طریق افزایش مقاومت شبکه پروتئینی نسبت به هضم پروتئین شده و همچنین سبب کاهش قابلیت دسترسی میکروارگانیسم‌ها به محتوای نشاسته خوراک می‌شود (۴۹). برهم‌کنش شیمیایی بین مولکول‌های نشاسته و گرانول‌های آن با افزایش کریستاله شدن به‌علت تأثیر عمل‌آوری حرارتی می‌تواند توضیح دیگری برای کاهش حلالیت و تجزیه‌پذیری نشاسته باشد (۴۹). تیمار حرارتی با تشکیل ماتریکس پروتئینی مقاوم به پروتئولیت‌ها سبب کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته می‌شود (۴۹). تحت تأثیر تیمار حرارتی ریزموج به‌مدت ۵ دقیقه سبب افزایش ژلاتینه شدن نشاسته، کاهش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و افزایش ماده خشک غیر قابل تجزیه در شکمبه می‌شود (۶۴). هدف از عمل‌آوری غلات بهبود قابلیت دسترسی شکمبه‌ای انرژی و نشاسته از طریق افزایش مقدار هضم کربوهیدرات‌ها همراه با کنترل سرعت هضم آن‌هاست (۲۶). حرارت دادن دانه جو در تغذیه گاوهای شیری مفید است زیرا این عمل‌آوری سبب کند شدن سرعت تجزیه‌پذیری مواد مغذی و افزایش

نشاسته عبوری از شکمبه می‌شود (۴۱). نتایج پژوهش کنونی با نتایج مطالعه صادقی و شورنگ (۲۰۰۶) منطبق بود. این پژوهشگران گزارش کردند علت کاهش نرخ عبور بخش تجزیه‌پذیر نشاسته دانه جو در زمان‌های مختلف پرتودهی به احتمال زیاد به‌دلیل در دسترس بودن نشاسته قابل تجزیه در بخش کند تجزیه و ترک کردن بیشتر نشاسته با تجزیه‌پذیری کند در بخش کند تجزیه باشد در مطالعه‌ای گزارش کردند که پرتوتابی ریزموج با تغییر ساختار نشاسته سبب کریستاله شدن نشاسته و کاهش حلالیت آن می‌شود (۲۷). همچنین در پژوهشی مطابق نتایج پژوهش حاضر بیان کردند در اثر تف دادن دانه جو با دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد، گرما سبب بهبود راندمان غذایی و تولید شیر به‌وسیله سرعت بهینه توزیع نشاسته جهت تخمیر شکمبه‌ای و خارج شدن بیشتر نشاسته از دسترس شکمبه و تجزیه بیشتر آن در روده کوچک می‌شود (۳۲). حرارت دادن مرطوب به‌همراه غلطک زدن دانه جو حرارت‌دهی به‌صورت کنترل نشده و از دمای ۵- تا بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد سبب افزایش قابلیت هضم نشاسته می‌شود (۹).

تابش اشعه ریزموج بر دانه جو به‌مدت سه دقیقه منجر به افزایش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته شده است اما تابش بیش از پنج دقیقه سبب کاهش تخریب نشاسته می‌شود (۴۷). پرتوتابی ریزموج بر روی دانه جو سبب افزایش بخش محلول و کاهش بخش بالقوه قابل هضم می‌شود و از طرفی این عمل‌آوری نرخ تجزیه‌پذیری بخش نامحلول، نشاسته دانه جو را کاهش می‌دهد (۴۷). نتایج تف دادن دانه جو اشاره به‌این دارد که کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته به‌دلیل تشکیل ماتریکس پروتئینی مقاوم در برابر پروتولیز می‌باشد. در واقع می‌توان بیان کرد که تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته وابسته به تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین می‌باشد (۳۵). در گزارشی بیان کردند آزمایش‌های تیمارهای حرارتی می‌تواند سبب کاهش تجزیه‌پذیری نشاسته به‌دلیل ایجاد دکسترین است (۴۲).

جدول ۷: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر کنتیک تجزیه‌پذیری نشاسته دانه جو.

Table 7. Effects of Microwave irradiation and variety on starch degradability kinetics of barley grain.

Incubation Time (hour) زمان انکوباسیون (ساعت)							
48	24	12	8	4	2	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
95.24	93.05	85.07	78.05	65.86	56.46	0	
95.16	88.59	75.63	66.41	54.08	46.06	2	بهمن آبی
92.55	86.17	75.09	65.96	49.03	36.25	4	(Bahman Abi)
88.57	84.84	69.12	58.74	43.66	33.67	6	
97.03	90.92	82.28	73.06	65.21	60.44	0	
94.49	90.66	79.07	71.88	54.38	44.67	2	ماکوئی
94.25	90.13	77.50	68.31	50.69	32.81	4	(Makoei)
92.08	89.93	77.03	65.45	46.16	32.13	6	
96.57	92.72	83.48	77.05	67.48	61.05	0	
94.49	91.38	79.96	69.44	59.5	40.11	2	سهند
92.87	89.87	79.56	69.30	49.99	35.43	4	(Sahand)
91.43	89.84	78.75	68.54	48.79	32.24	6	
1.19	1.59	2.09	2.13	2.16	2.71	SEM	
						P values	
0.1585	0.0490	0.0308	0.0616	0.6140	0.8839	Variety	
<0.0001	0.0660	0.0013	<0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
0.7636	0.1871	0.0446	0.0892	0.5549	0.4438	Variety * Processing	

جدول ۸: تأثیر پرتوتابی ریزموج و رقم بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری نشاسته دانه جو.

Table 8. Effects of Microwave irradiation and variety on starch degradability parameters of barley grain.

فراسنجه‌ها (parameters)							
ED0.08	ED0.05	ED0.3	c (%h^{-1})	b (%)	a (%)	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
76.36	81.50	88.73	0.086	51.04	44.35	0	بهمن آبی (Bahman Abi)
67.56	74.33	84.94	0.088	59.72	36.93	2	
63.40	70.36	80.96	0.134	69.35	21.57	4	
59.73	67.83	79.93	0.138	72.53	19.32	6	
72.56	80.00	88.70	0.066	43.86	54.98	0	ماکوئی (Makoei)
68.26	75.10	85.30	0.105	62.62	32.76	2	
65.90	73.56	83.60	0.127	80.39	14.04	4	
63.46	73.00	83.50	0.179	84.94	7.15	6	
77.33	82.20	89.56	0.098	43.86	53.19	0	سهند (Sahand)
67.60	74.90	85.16	0.128	70.57	24.07	2	
65.25	72.87	83.42	0.135	77.61	15.44	4	
64.50	72.25	82.55	0.146	82.19	9.28	6	
1.83	1.60	1.22	0.013	4.15	4.30	SEM	
						P values	
0.3632	0.1555	0.1060	0.1011	0.1571	0.2850	Variety	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
0.3267	0.4638	0.6965	0.0047	0.1207	0.1201	Variety * Processing	

قابلیت متابولیسم و گوارش‌پذیری روده‌ای نشاسته و پروتئین‌خام: جداول ۹ و ۱۰ به‌ترتیب نشان دهنده توزیع پروتئین خام در سیستم پروتئین قابل متابولیسم و سیستم کربوهیدرات و پروتئین خالص کورنل است. اثر عوامل مورد بررسی بر توزیع کربوهیدرات در سیستم کورنل در جدول ۱۱ و اثر پرتوتابی بر مقادیر گوارش‌پذیری روده‌ای پروتئین خام و نشاسته بر اساس آزمون سه مرحله‌ای آزمایشگاهی در جدول ۱۲ گزارش شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج با افزایش مدت زمان پرتوتابی میزان بخش سریع تجزیه پروتئین[1]، پروتئین حقیقی (پروتئین ناپدید شده در شکمبه)[2]، پروتئین تجزیه‌پذیر مؤثر در شکمبه[3] ارقام مختلف جو (بهمن آبی و ماکوئی و سهند) روند کاهشی و میزان پروتئین غیرقابل‌تجزیه در شکمبه[4]، پروتئین عبوری از شکمبه[5]، پروتئین با تجزیه‌پذیری آهسته[6] و پروتئین میکروبی[7] افزایش معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). مقایسه‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) برافزایش میزان پروتئین غیرقابل‌تجزیه در شکمبه، پروتئین عبوری از شکمبه، پروتئین با تجزیه‌پذیری آهسته و پروتئین میکروبی و نسبت پروتئین پروتئین عبوری بر غیرقابل‌تجزیه در شکمبه دانه‌های جو است. همچنین اختلاف معنی-داری (P<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر کاهش میزان بخش سریع تجزیه پروتئین، پروتئین حقیقی و پروتئین تجزیه‌پذیر موثر در شکمبه دانه‌های جو مشاهده شد. عمل‌آوری حرارتی در تمام سطوح سبب کاهش قابل ملاحظه (P<۰/۰۵) بخش آهسته تجزیه پروتئین در رقم جو سهند برخلاف ارقام دیگر شد. طبق نتایج جدول ۱۰ تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج با افزایش مدت زمان پرتوتابی در تمام ارقام جو (بهمن آبی، ماکوئی و سهند) میزان بخش محلول، یالقوه‌تجزیه‌پذیر و

1- QDP
2- RDP
3- ERDP
4- UDP
5- DUP
6- SDP
7- MP

نامحلول کاهش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵) اما میزان بخش سریع‌تجزیه و متوسط تجزیه‌افزایش معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). مقایسه‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) برافزایش میزان و دانه‌های جو است. همچنین اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر کاهش میزان بخش‌های محلول، بالقوه تجزیه‌پذیر، نامحلول و افزایش بخش‌های سریع‌تجزیه و متوسط تجزیه دانه‌های جو مشاهده شد. به‌طوری که پرتوتابی به‌مدت ۴ دقیقه عملکرد مطلوب‌تری در تمام ارقام جو نسبت به سایر زمان‌ها داشت. میزان پروتئین به‌سرعت قابل تجزیه در شکمبه و پروتئین قابل تجزیه‌ی مؤثر در شکمبه تحت تأثیر عمل‌آوری ریزموج کاهش یافت در مقابل میزان پروتئین با تجزیه‌پذیری کند در شکمبه افزایش پیدا کرد. نتایج نشان‌دهنده آن است که تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج با تغییر ساختار مولکول‌های پروتئین ناشی از واکنش میلارد سبب تغییر خصوصیات فیزیکی پروتئین مثل حلالیت پروتئین در شکمبه و افزایش سطح آبگریزی پروتئین منجر کاهش میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای و متعاقباً افزایش میزان پروتئین عبوری به روده کوچک می‌شود. نتایج این بخش نشان دهنده تأثیر منفی عمل‌آوری به‌مدت ۶ دقیقه بر میزان پروتئین قابل‌متابولیسم نسبت به سایر زمان‌های عمل‌آوری است. با این‌حال پاسخ ارقام مختلف در این ارتباط باهم متفاوت بود. نتایج تجزیه واریانس جداول ۱۱ و ۱۲ نشان داد تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج با افزایش مدت زمان پرتوتابی بخش محلول، سریع‌تجزیه، تجزیه‌پذیر متوسط، پروتئین عبوری و نشاسته کاهش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵) اما میزان بخش تجزیه‌پذیر پایین و نامحلول افزایش معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). مقایسه‌های آماری نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) برافزایش میزان بخش تجزیه‌پذیر کم و نامحلول دانه‌های جو است. همچنین اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۵) بین زمان‌های مختلف پرتوتابی (۲، ۴ و ۶ دقیقه) بر کاهش محلول، سریع‌تجزیه و تجزیه‌پذیر متوسط دانه‌های جو مشاهده شد. به‌طوری که پرتوتابی به‌مدت ۴ دقیقه عملکرد مطلوب‌تری در تمام ارقام جو نسبت به سایر زمان‌ها داشت. به‌منظور حداکثر نمودن بهره‌گیری از نشاسته غلات، افزایش گوارش‌پذیری نشاسته غلات در روده کوچک یک عمل مطلوب است. همچنین کاهش گوارش‌پذیری شکمبه‌ای نشاسته در برخی شرایط تغذیه‌ای برای جلوگیری از اسیدوزیس شکمبه و بهبود تأمین سوبستراهای گلوکوژنیک انجام می‌گیرد (۵۴). تغییر محل هضم نشاسته از شکمبه به روده باریک باعث بهبود ارزش انرژی آن خواهد شد (۳۹). هضم کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی در روده باریک دارای مزایای بیشتری از هضم آن‌ها در شکمبه است. بنابراین مقدار هضم در روده باریک حداکثر گردد (۲۱). هرچند که حداکثر مقداری از نشاسته که در روده باریک می‌تواند هضم گردد به‌سادگی قابل تعیین نیست (۲۱). چندین محصول حاصل از هضم و جذب نشاسته به‌عنوان منبع کربن برای گلوکونئوژنز مطرح شده‌اند پروپیونات از لحاظ کمی دارای بیشترین اهمیت است در واقع ۷۰ درصد از تولید گلوکز خالص در کبد در گاوهای درحال رشد از منشأ پروپیوناتی است (۴۴). با این‌حال، افزایش جریان نشاسته به روده باریک ممکن است با کاهش هضم در کل دستگاه گوارش همراه باشد (۵۵). حداکثر نمودن جریان نشاسته رسیده به روده باریک می‌تواند منجر به افزایش مقادیر نشاسته جریان یافته به روده بزرگ گردد (۲۲). پرتوتابی ریزموج منجر به تغییر ساختار پروتئین دانه‌های جو پوسته‌دار و بدون پوسته و همبستگی این تغییرات ساختاری در پروفایل شیمیایی ۱ و ۲ پروتئین؛ زیرمجموعه‌های ترکیب‌بندی و ۳؛ تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین و گوارش

پذیری روده‌ای پروتئین قابل تجزیه در شکمبه در مطالعات تکنیک کیسه‌های نایلونی شده است (۶۴). محتوای تمام زیرمجموعه‌های پروتئین در دانه‌های جو تحت تأثیر پرتوتابی ریزموج تغییر پیدا کرد و بخش تجزیه‌پذیری بالقوه پروتئین کاهش یافت (۶۴). همچنین میزان بخش محلول و باند شده پروتئین در اثر پرتوتابی ریزموج به‌مدت ۳ دقیقه به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت (۶۴). اعتقاد بر این است که بخش تجزیه‌پذیری پایین پروتئین سرعت تجزیه‌پذیری بسیار آهسته‌ای دارد که نشان‌دهنده این است که اغلب زیرمجموعه‌های پروتئین از تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای فرار کرده و در روده کوچک قابلیت هضم پیدا می‌کنند (۶۴). از این‌رو افزایش زیرمجموعه‌های بخش تجزیه‌پذیر پایین سبب محافظت پروتئین قابل تجزیه در شکمبه از تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای به‌منظور گوارش‌پذیری آن در روده کوچک می‌شود (۶۴). زیرمجموعه‌های پروتئین باند شده، پروتئین غیرقابل تجزیه در شکمبه بوده و تحت تأثیر خطرات عمل‌آوری حرارتی با تشکیل پیوند با سایر محتویات گیاهی و محصولات واکنش میلارد قرار می‌گیرند (۵۳). پرتوتابی ریزموج به‌مدت ۳ دقیقه سبب کاهش زیر مجموعه‌های بخش سریع‌تجزیه پروتئین و افزایش زیرمجموعه‌های بخش تجزیه‌پذیری متوسط می‌شود اما زیرمجموعه پروتئین باند شده تغییر پیدا نکرد. این نتایج سبب کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه شد. اما از قابلیت هضم روده‌ای پروتئین در روده کوچک محافظت نکرد (۶۴).

ارقام مختلف دانه جو با توجه به الیاف بالای پوسته زیرمجموعه بخش تجزیه‌پذیری متوسط پروتئین بالا و زیر مجموعه پروتئین باند شده، پروتئین پایینی دارند (۶۴). حرارت دادن مواد خوراکی، پروتئین‌های بخش تجزیه‌پذیری متوسط را تخریب کرده و آن‌ها را نامحلول می‌سازد در این صورت بخش‌های تجزیه‌پذیر پایین و پروتئین باند شده که بخش اعظمی از پروتئین غیر قابل‌تجزیه را تشکیل می‌دهند افزایش می‌یابد (۶۱؛ ۵۶).

جدول ۹: تأثیر عمل‌آوری ریزموج و رقم بر توزیع پروتئین خام دانه جو بر اساس سیستم پروتئین قابل متابولیسم (گرم بر کیلوگرم پروتئین خام).

Table 9. Effects of Microwave irradiation and variety on protein metabolizability of barley grain (g.kg cp).

فراسنجه‌ها (parameters)									
MP	DUP.UDP	UDP	DUP	ERDP	RDP	SDP	QDP	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
581.78	0.77	42.72	55.52	845.57	953.84	412.54	541.29	0	
713.09	0.89	304.18	342.82	641.43	681.28	482.04	199.24	2	بهمن آبی
728.97	0.88	310.16	350.79	656.96	698.54	490.65	207.88	4	(Bahman Abi)
790.56	0.89	465.38	523.05	510.09	535.05	410.24	124.81	6	
602.68	0.84	75.74	89.97	826.56	925.60	430.39	495.20	0	
729.92	0.89	347.91	391.52	599.22	627.95	484.33	143.61	2	ماکوئی
748.35	0.89	366.49	412.35	598.99	630.72	470.09	158.62	4	(Makoei)
726.11	0.89	411.18	463.87	549.47	572.46	457.52	114.94	6	
622.72	0.87	99.59	114.36	820.60	904.37	485.50	418.87	0	
700.56	0.88	335.10	378.79	573.27	624.31	405.75	222.10	2	سهند
734.54	0.89	362.72	408.07	583.25	627.67	400.09	149.59	4	(Sahand)
748.91	0.89	417.56	469.37	519.76	549.68	369.09	255.23	6	
0.003	1.60	1.77	1.82	1.99	1.14	0.914	34.48	SEM	
								P values	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.1980	Variety	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	Processing	
<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0353	Variety * Processing	

در محاسبات سیستم پروتئین قابل متابولیسم از نرخ عبور ۰/۰۵ استفاده شده است.

جدول ۱۰: تأثیر عمل‌آوری ریزموج و رقم بر توزیع پروتئین خام دانه جو بر اساس سیستم خالص کورنل (درصد پروتئین خام).

Table 10. Effects of Microwave irradiation and variety on CNCPS protein fractions of barley grain (g/100 g CP).

فراسنجه‌ها (Parametrs)						
C	B3	B2	B1	A	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
0.67	6.63	70.06	14.53	8.12	0	
0.45	7.76	73.11	12.28	6.40	2	بهمن آبی
0.53	8.19	74.36	11.68	5.24	4	(Bahman Abi)
0.53	9.87	75.11	10.11	4.38	6	
0.48	7.89	72.42	13.35	5.87	0	
0.47	7.98	72.38	13.46	5.71	2	ماکوئی
0.46	7.90	72.45	13.31	5.88	4	(Makoei)
0.58	8.42	75.73	11.02	4.25	6	
0.31	6.81	71.90	13.80	7.35	0	
0.64	7.02	71.63	14.67	6.11	2	سهند
0.46	7.90	72.45	13.31	5.88	4	(Sahand)
0.52	8.12	73.18	12.52	5.67	6	
0.144	0.274	0.689	1.382	0.628	SEM	
					P values	
0.742	0.042	0.058	0.742	0.036	Variety	
0.380	0.001	0.043	0.048	0.045	Processing	
0.221	0.064	0.121	0.221	0.075	Variety * Processing	

جدول ۱۱: تأثیر عمل‌آوری ریزموج و رقم بر توزیع بخش‌های مختلف کربوهیدرات دانه جو بر اساس سیستم خالص کورنل (درصد کربوهیدرات).

Table 11. Effects of Microwave irradiation and variety on CNCPS carbohydrate fractions of barley grain

فراسنجه‌ها (Parametrs)						
C	B3	B2	B1	A4	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	رقم (Variety)
7.92	9.69	5.56	56.26	20.58	0	
8.24	10.42	5.48	55.41	20.45	2	بهمن آبی
7.86	10.05	5.60	56.67	19.82	4	(Bahman Abi)
7.85	11.17	5.22	56.42	19.33	6	
7.12	8.87	5.59	56.54	21.88	0	
7.74	9.54	5.56	56.19	20.98	2	ماکوئی
7.95	9.76	5.56	56.17	20.57	4	(Makoei)
8.00	9.80	5.60	56.62	19.99	6	
8.06	6.74	5.39	56.22	23.60	0	
7.72	8.82	5.55	56.13	21.77	2	سهند
7.86	8.48	5.39	56.87	21.40	4	(Sahand)
7.92	9.69	5.56	56.26	20.58	6	
0.513	0.362	0.331	0.864	0.404	SEM	
					P values	
0.212	0.047	0.723	0.694	0.073	Variety	
0.311	0.043	0.511	0.221	0.032	Processing	
0.836	0.092	0.743	0.664	0.521	Variety * Processing	

جدول ۱۲: تأثیر عمل‌آوری ریزموج و رقم بر ضرایب گوارش‌پذیری روده‌ای پروتئین و نشاسته عبوری (گرم هضم شده به ازای هر گرم انکوبه شده در شرایط آزمایشگاهی.

Table 12. Effects of Microwave irradiation and variety on in vitro intestinal digestibility (g digested/g) incubated in intestine.

فراسنجه‌ها (Parametrs)			
رقم (Variety)	پرتوتابی (دقیقه) (Irradiation) (min)	پروتئین عبوری	**نشاسته**
بهمن آبی (Bahman Abi)	0	0.87	0.76
	2	0.82	0.68
	4	0.82	0.65
	6	0.79	0.43
ماکوئی (Makoei)	0	0.84	0.72
	2	0.84	0.63
	4	0.79	0.58
	6	0.81	0.55
سهند (Sahand)	0	0.86	0.75
	2	0.83	0.73
	4	0.78	0.69
	6	0.76	0.61
SEM		0.058	0.043
P values			
Variety		0.224	0.043
Processing		0.342	0.01
Variety * Processing		0.732	0.082

از آنجا که بخش زیادی از پروتئین جو را گلوتلین‌ها تشکیل می‌دهند، بالا بودن بخش تجزیه‌پذیری متوسط پروتئین جو در مقایسه با بخش‌های دیگر پروتئین (تجزیه‌پذیر پایین، پروتئین باند شده، بخش سریع‌تجزیه و محلول) را می‌توان به وجود این پروتئین‌ها نسبت داد (۷). نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که ارقام مختلف جو ترکیب شیمیایی و بخش‌های پروتئین و کربوهیدرات متفاوتی دارند و تفاوت در این بخش‌ها می‌تواند مقدار پروتئین و کربوهیدرات تجزیه شده در شکمبه و عبوری به قسمت‌های پایین دستگاه گوارش را تحت تأثیر قرار دهد (۱۸).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تفاوت در پاسخ ارقام مختلف جو به پرتوتابی با ریزموج و لزوم انجام آزمون درون‌تنی بود. به‌نظر می‌رسد بر اساس نتایج ارائه شده، بهترین پاسخ در تأثیرگذاری بر فراسنجه‌های ارزش غذایی در راستای بهبود تخمیر شکمبه‌ای، تجزیه‌پذیری پروتئین، نشاسته و افزایش مقادیر نشاسته و پروتئین گوارش‌پذیر ورودی به روده باریک را می‌توان مربوط پرتوتابی به‌مدت ۴ دقیقه در ارقام مختلف دانست.

منابع

1. A.O.A.C. 2000. Official methods of analysis, 17 thed. Association of official analytical chemists, Arlington, VA.
2. Agricultural Food Research Council. 1993. Energy and protein requirements of ruminants. In: AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International, Wallingford, UK.

3. Arvanito yanis, I.S. 2010. Irradiation of Food Commodities: Techniues, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion. Elseviers science and technology Rights department in oxford, London, uk.
4. Baldwin, P.M. 2001. Starch granule-associated proteins and polypeptids: A review. Starch 53: 475-503.
5. Berner, A.L. 1980. The production and composition of milk from dairy cows fed hay supplemented with whole, rolled or alkali- treated barley grain. Proceeding of the ASAP. 13: 397-400.
6. Blair, R. 2008. Nutrition and Feeding of Organic Poultry. CABI, Wallingford, UK. 322p.
7. Chalupa, W., and Sniffen, C.J. 1996. Protein and amino acid nutrition of lactating dairy cattle—today and tomorrow. Animal Feed Science and Technology. 58: 65-75.
8. Colkesen, M., Kamalak, A., Canbolat, O., Gurbuz, Y., and Ozkan, C. 2005. Effect of cultivar and formaldehyde treatment of barley grain on rumen fermentation characteristics using in vitro gas production. South African Journal of Animal Science. 35: 206-212.
9. Christen, S.D., Hill, T.M., and Williams, M.S. 1996. Effects of tempered barley on milk yield, intake, and digestion kinetics of lactating Holstein cows. Journal of Dairy Science. 79: 1394-1399.
10. Damiran, D., and Yu, P. 2012. Metabolic characteristics in ruminants of the proteins in newly developed hullIless barley varieties with altered starch traits. Journal of Cereal Science. 55: 351– 463.
11. Damiran, D., and Yu, P. 2011. Molecular basis of structural makeup of hulless barley in relation to rumen degradation kinetics and intestinal availability in dairy cattle: A novel approach. Journal of Dairy Science. 94: 5151–5159.
12. Dann, H.M., Varga, G.A., and Putnan, D.E. 1999. Improving energy supply late gestation and early postpartum dairy cows. Journal of Dairy Science. 82: 1765-1778.
13. FAO, 2001. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of United Nations.
14. FAOSTAT, 2015. The agricultural production domain. Available from: http:faostat.fao.org.site.339.default.aspx (January 31 2015) .
15. Finley, JW. 1989. Effects of processing on proteins: an overview. In: Phillips, R.D., Finley, J.W. (Eds.), Protein Quality and the Effects of Processing. Marcel Dekker, New York, NY, USA, Pp: 1–7.
16. Gargallo, S., Calsamiglia, S., and Ferret, A. 2006. Technical noteia modified three step in vitro pr ocedure to determine intestinal digestion of proteins. Journal of Animal Science. 84: 2163- 2167.
17. Ghezeljeh, A.E., Mesgaran, D.M., Moghaddam, N.H., and Vakili, A. 2011. Bulk density, chemical composition and *in vitro* gas production parameters of Iranian barley grain cultivars grown at different selected climates. African Journal of Agricultural Research. 6: 1226-1232.
18. Gholizadeh, H., Naserian, A.A., Valizadeh, R.A., and Tahmasbi, M. 2017. Study of Carbohydrate and Protein Fractions in Different Barley Cultivars Using Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) Iranian Journal of Animal Science Research8: 541-552. (in Persian)
19. Ghorbani, G., and Hadj-Hussaini, A. 2002. Isitu degradability of Iranian barley grain cultivars. Small Ruminant Research. 44: 207-212.
20. Giger-Reverdin, S. 2000. Characterisation of feedstuffs for ruminants using some physical parameters. Animal Feed Science Technology. 86: 53-69.
21. Harmon, D.L., and McLeod, K.R. 2001. Glucose uptake and regulation by intestinal tissues: implication and whole-body energetics. Journal of Animal Science. 79: E59-E72.
22. Harmon, D.L., Yamka, R.M., and Elam, N.A. 2004. Factors affecting intestinal starch digestion in ruminants: A review. Canadian Journal of Animal Science. 84: 309-318.

23. Hayase, F., Kato, H., and Fujimaki, M. 1975. Racemization of amino acid residues in proteins and poly (L-amino acids) during roasting. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 23: 491–494.
24. Kaasova, J., Hubackova, B., Kadlec, P., Prihoda, J., and Bubnik, Z. 2002. Chemical and biochemical changes during microwave treatment of wheat. Czech Journal of Feed Science. 20: 74–78.
25. Kadlec, P., Kaasova, J., Dostalova, J., Zatopkova, M., Hosnedl, V., and Hrachovinova, J. 2002: Microwave treatment on drying of germinated pea. Czech Journal of Feed Science. 20: 23–30.
26. Koenig, K.M., Beauchemin, K.A., and Rode, L.M. 2003. Effect of grain processing and silage on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in beef cattle fed barley-based diets. Journal of Animal Science. 81: 1057-1067.
27. Lewandowicz, G., Jankowsk, T., and Fornal, J. 2000. Effect of microwave radiation on physico-chemical properties and structure of cereal starches. Carbohydrate Polymers. 42: 193–199.
28. Licitra, G., Hernandez, T., and Van Soest, P. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology. 57: 347-358.
29. Ljøkjel, K., Harstad, O.M., Prestløkken, E., and Skrede, A. 2003. *In situ* digestibility of protein in barley grain (*Hordeum vulgare*) and peas (*Pisum sativum* L.) in dairy cows: influence of heat treatment and glucose addition. Animal Feed Science and Technology. 107: 87–104.
30. Lykos, T., and Varga, G.A. 1995. Effects of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate sources in sitution. Journal of Dairy Science. 78: 1789- 801.
31. McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., and Sinclair, L.A. 2010. Animal nutrition, 714p.
32. Mcniven, M.A., Weisbjerg, M.R., and Hvelpund, T. 1995. Influence of roasting or sodium hydroxide treatment of barley on digestion in lactating cows. Journal of Dairy Science. 78: 1106-1115.
33. Montgomery MJ and Baumgardt BR. 1965. Prediction of nutrient composition and in vitro dry matter digestibility from physical characteristics of forages. Journal of Dairy Science. 48: 1623-1628.
34. Moshtaghi Nia, S.A. and Ingalls J.R. 1995. Influence of moist heat treatment on ruminal and intestinal disappearance of amino acids from rapeseed meal. Journal of Dairy Science. 78: 1552-1560.
35. Nocek, J.E., and Tamminga, S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. Journal of Dairy Science. 74: 3598–3629.
36. Oliveira, M.E.C., and Franca, A.S. 2002. Microwave heating of foodstuffs. Journal of Food Engineering. pp.347-359.
37. Peng, Q., Khan, N.A., Wang, Z., Yu, Moist P. 2014. dry heatingIinduced changes in protein molecular structure, protein subfractions, and nutrient profiles in camelina seeds. Journal of Dairy Science. 97: 446–457.
38. Prestløkken, E. 1999. In situ ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. Animal Feed Science and Technology. 77: 1–23.
39. Reynolds, C.K., Cammell, S.B., Humphries, D.J., Beever, D.E., Sutton, J.D., and Newbold, J.R. 2001. Effects of post – rumen starch infusion on milk production and energy metabolism in dairy cows, Journal of Dairy Science. 84: 2250-2259.
40. Robertson, J.A., and Eastwood, M.A. 1981. An investigation of the experimental conditions which could affect water holding capacity of dietary fiber. Journal of Science Food Agricultural. 32: 819-825.

41. Robinson, P.H., and Mcniven, M.A. 1994. Influence of flame roasting frequency of barley on performancof dairy cows. Journal of Dairy Science. 77: 3631-3643.
42. Robertson, J.A., and Eastwood, M.A. 1981. An investigation of the experimental conditions which could affect water holding capacity of dietary fiber. Journal of Science Food Agricultural. 32: 819-825.
43. Rooney, L.W., and Pflugfelder, R.L. 1986. Factor affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. Journal of Animal Science. 63: 1607–1623.
44. Rosa, J., and Barbosa-Canovas, G.V. 2003. Nonthermal preservation of foods using combined processing techniques. Crit. Rev. Feed Science Nutrition. 43: 265 -285.
45. Rose, R., Rose, C., Steven, K., Omi, Keith, R., Forry, Daniel, Durall, M., and William, L. 1991. Bigg Nursery Technologhy cooperative, Department of Forest Science, Oregon state University, Corvallis, Oregon 97331. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 39: 2- 11.
46. Sadeghi, A.A., and Shawrang, P. 2005. Effects of micronization on ruminal starch and protein degradation kinetics of corn grain. Proceedings of the British Society of Animal Science. 199p. University of York, UK.
47. Sadeghi, A.A., and Shawrang, P. 2006. Effects of Microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of corn grain. Journal of Animal Feed Science and Technology. 127: 113 -123.
48. Sadeghi, A.A., and Shawrang, P. 2008. Effects of Microwave irradiation on ruminal protein and starch degradation of barley grain. Journal of Animal Feed Science and Technology. 141: 184 -194.
49. Yu, P. 2011. Dry and moist heating-induced changes in protein molecular structure protein subfraction, and nutrient profiles in soybeans. Journal of Dairy Science. 94: 6092–6102.
50. Sarvari, S., Hosseinkhani, A., Taghizadeh, A., Janmohammadi, H., Daghighkia, H., and Mohammadzadeh, H. 2015. The effects of variety and time of roasting on chemical composition and estimate fermentation and physical parameters of barley grain using invitro gas production technique. Journal of Animal Science Research. 25p. (in Persian)
51. SAS, 2002. Version 9.1 SAS.STAT user's guide. Statistical Analysis Systems Institute, Cary, NC, USA.
52. Shamei, F., Pirmohammad, R., and Khalilvandi-Behroozyar, H. 2015. Evaluation of the Effect of Different Thermal Treatment Methods on the Chemical Composition and Some Nutritional Parameters of Cotton Elastic Waste In situ and In vitro Methods. Journal of Animal Science Research. 46: 261-247. (in Persian)
53. Shawrang, P., and Sadeghi, A.A. 2007. Effects of gamma irradiation on protein degradation of safflower meal in the rumen. Proceedings of the British Society of Animal Science. University of York, UK. 68p.
54. Sniffen, C.J., O'Connor, J.D., Van Soest, P.J., Fox, D.G., and Russell, J.B. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. Journal of Animal Science. 70: 3562–3577.
55. Svihus, B., Uhlen, A.K., and Harstad, O.M. 2005. Effect of starch granule structure, associated components and processing on nutritive value of cereal starch: A review. Journal of Animal Feed Science and Technology. 122: 303- 320.
56. Theurer, C.B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. Journal of Animal Science. 63: 1649-1662.
57. Van Soest, PJ., 1994. Nutritional ecology of the ruminant, 2th edition. Comestock publishing associates, Cornell University press, Ithaca and London.
58. Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press.
59. Van Soest, P.J., Robertson, J.B., and Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fibre, neutral detergent fibre and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of Dairy Science. 74: 3583–3597.
60. Vanzant, E., Cochran, S., and Titgemeyer, E.C. 1998. Standardization of *in situ* techniques for ruminant feedstuff evaluation. Journal of Animal Science. 76: 2717- 2729.

61. Voragen, AGJ., Gruppen, H., Marsman, GJP., and Mul, AJ. 1995. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: Garnsworthy, P.C., Cole, D.J.A. (Eds.), Recent Advances in Animal Nutrition. Nottingham University Press, Nottingham, UK. Pp: 93–126.
62. Wallace, R.J., Onodera, R., and Cotta, M.A. 1997. Metabolism of nitrogen-containing compounds. Pages 283-328 in The Rumen Microbial Ecosystem. P.N. Hobson and C.S. Stewart, ed. Springer Netherlands.
63. Waltz, D.M., and Stern, M.D. 1989. Evaluation of various methods for protecting soya-ben protein from degradation by rumen bacteria. Journal of Animal Feed Science and Technology. 25: 111-122.
64. Wang, Y., Greer, D., and McAllister, T.A. 2003. Effects of moisture, roller setting and saponin-based surfactant on barley processing, ruminal degradation of barley and growth performance by feedlot steers. Journal of Animal Science. 81: 2145-2154.
65. Xiaogang Yan, Nazir Ahmad Khan, Fangyu Zhang, Ling Yang, and Peiqiang, Yu. 2014. Microwave irradiation induced changes in protein molecular structures of barley grains: relationship with changes in protein chemical profile, protein subfractions and digestion in dairy cows. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 62: 6546-6555.).
66. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Farr, B.I., Rode, L.M. 1997. Comparison of Barley, HullI less Barley, and Corn in the Concentrate of Dairy Cows. Journal of *D*airy Science. 80: 2885–2895.
67. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., and Rode, L.M. 2000. Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. Journal of Dairy Science. 83: 554-568.
68. Yaremico, B.J., Mathison, G.W., Engstroml, D.F., Roth, L.A., and Caine, W.R. 1991. Effect of ammoniation on the preservation and feeding value of barley grain for growing- finishing cattle.
69. Yu, P. 2007. Protein molecular structures, protein subfractions, and protein availability affected by heat processing: A review. American. Journal of Biochemidtry and Biotechnology. 3: 70–90.
70. Yu, P., Tamminga, S., Egan, A.R., Christensen, D.A. 2004. Probing equivocal effects of heat processing of legume seeds on performance of ruminants I A review. Asian-Austral. Journal of Animal Science., 17: 869–876.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Ruminant Research, Vol. 5(4), 2018
http://ejrr.gau.ac.ir

Radiation effects of micrwave on chemical compounds, rumen degradability, starch digestion and crude protein of different barley grain varieties

E. Pir Adl[1], R. Pirmohammadi[2] and *H. Khalilvandi Behroozyar[3]
[1]Ph.D. Student, [2]Proffesor, and [3]Assistant Prof., Dept. of Animal Science, Faculty of Agriculture, Urmia University
Received: 07/19/2017; Accepted: 11/01/2017

Abstract

Background and objective: Microwave irradiation is a type of heat processing to reduce the crude protein and starch degradability and increased protein passing to the small intestine to improve rumen fermentation of cereals. This research was carried out to investigate the degradability of starch and crude protein of different varieties of microwave irradiated barley grain and the distribution of protein in the carbohydrate system and pure protein kornel system and metabolizable protein system.

Materials and methods: Determination of chemical composition with laboratory mill with 1 mm grinding mill and dry matter concentration, raw material of crude protein (Kjeldahl machines), raw Ethere Extract using standard methods. Starch was evaluated by anthrom (44) and neutral detergent fiber (ankome system) and acid detergent fiber by Van Suste et al. (1991) measurements (three replicates). Three barley varieties (*Sahand*, *Makoei, and BahmanAbi*) were exposed were exposed to microwave radiation for 2, 4, and 6 minutes. Kinetic and ruminal digestibilty of dry matter, starch and protein feed samples was determined by nylon bag using three Holstein male calves equipped with flexible rhombic fistula at 0, 2, 4, 6, 8, 12, 24 and 48 hours in a randomized complete block design. Distribution of protein was determined based on the metabolizable protein system and the relevant equations. Protein solubility in different buffers was determined in order to understand the distribution of different protein portions in the carbohydrate system and the pure Cornell protein (CNCPS). In addition, the effect of irradiation on the distribution of barley carbohydrates in this system was studied.

Results: Under the influence of microwave irradiation, the amount of dry matter, crude protein, organic matter, soluble fiber in acid detergent, insoluble fiber in neutral detergent of different barley grain varieties decreased, so that in the last 6 minutes, the lowest amount of dry matter, crude protein, organic matter, acid detergent fiber, neutral detergent fiber and ethere extract belonging to Sahand cultivar. The results of this experiment indicated a significant and reducing effect of irradiation at different times on the amount of starch and digestible protein in the rumen and there was a significant difference between the different studied cultivars. Among different studied varieties, the different degradability parameters of Sahand varietie were affected by radiation. The difference between varieties in response to treatments can be considered as a reflection of the amount of crust, starch and crude protein and different distribution of starch in different parts of the grain. Prolonging the irradiation time increased its effect on different parameters of evaluation regarding crude protein and starch degradability. Treating various maize varieties with microwave significantly reduced the amount of soluble protein, reduced protein nitrogen and increased protein and starch content available in the carbohydrate system and pure cornel protein. However, Prolonging the irradiation time

*Corresponding author: h.khalilvandi@urmia.ac.ir

increased the protein bound to the cell wall and subsequently reduced protein availability but had no effect on the amount of available starch. Contrary to the results of the carbohydrate system and pure Cornell protein test, irradiation did not have a negative effect on the digestibility of crustacean protein subunits based on a three-step enzymatic method, but affected the digestive ability of starch.

Conclusions: The results of this study showed the different response of barley varieties to irradiation with microwave waves and the need for an *in vivo* investigations. It seems that according to the results, the best response in influencing nutritional parameters for improving rumen fermentation, protein degradation, starch and increasing the amounts of starch and digestible protein entering the small intestine can be related to irradiation to It was 4 minutes in different cultivars.

Keywords: Metabolizable protein, Starch, Cereals, Thermal processing, Degradability, CNCPS