

مقایسه ساختار مولکولی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های برخی از ارقام سورگوم با استفاده از تکنیک طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز (FTIR) و آنالیز چند متغیره

حجت قلی زاده^{۱*} - عباسعلی ناصریان^۲ - رضا ولی زاده^۲ - عبدالمنصور طهماسبی^۲ - پی کوآنگ یو^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۳/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۴

چکیده

این آزمایش به منظور بررسی ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات ارقام سورگوم با استفاده از تکنیک طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز و آنالیز چند متغیره انجام شد. ارقام سورگوم شامل: ۱- کیمیا، ۲- سپیده، ۳- M2 و ۴- M8 بود. گروه‌های عاملی مولکول پروتئین و کربوهیدرات مطالعه شده شامل: ۱- سطح و ارتفاع پیک جذب پروتئین امید ۱، ۲- امید ۲، ۳- آلفا هلیکس، ۴- صفحات بتا، ۵- پیک جذب ۸۶۰ (کربو هیدرات غیر ساختاری)، ۶- پیک جذب ۹۲۸ (کربوهیدرات غیر ساختاری)، ۷- کربوهیدرات کل با سه پیک اصلی، ۸- ترکیبات سلولزی و نسبت‌های مختلف گروه‌های عاملی بود. نتایج طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز نشان داد که بین ارقام سورگوم به لحاظ ساختار مولکولی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها اختلاف معنی دار وجود دارد. کیمیا بیشترین سطح و ارتفاع پیک جذب امید ۱، امید ۲، آلفا هلیکس، صفحات بتا، کربوهیدرات غیر ساختاری، کربوهیدرات کل و ترکیبات سلولزی را داشت. ارقام سپیده، M2 و M8 ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات مشابهی داشتند. تفاوت در ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات می‌تواند دسترسی پروتئین و کربوهیدرات را در نشخوار کنندگان و تک معده‌ای‌ها تحت تأثیر قرار دهد. آزمایشات بیشتری لازم است تا تأثیر وارسته بر ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات سورگوم و ارتباط بین ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات خوراک با قابلیت دست رسی مواد مغذی در نشخوار کنندگان و تک معده‌ای‌ها بررسی شود.

کلمات کلیدی: FTIR، سورگوم، ساختار مولکولی پروتئین، کربوهیدرات.

مقدمه

گردد. اخیراً در ایران خشک سالی‌های مکرر و نیز افزایش قیمت جهانی ذرت و جو باعث شده است که هم کشاورزان و هم پرورش دهندگان دام و طیور توجه بیشتری به سایر غلات از جمله سورگوم پیدا کنند. قابلیت جایگزینی ذرت با سورگوم در جیره دام سالهاست که توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج متفاوتی گزارش شده است (۳۱ و ۳۱). یا حقی و همکاران (۳۲) تأثیر جایگزینی جو با ذرت و سورگوم بر خصوصیات تخمیری و عملکرد بره‌های بلوچی را بررسی کردند و گزارش دادند، قابلیت هضم ظاهری ماده آلی، pH، ادرار و شکمبه تحت تأثیر سطوح مختلف جایگزینی سورگوم به جای جو قرار نگرفته بود. با وجود تأثیر مثبت مصرف سورگوم در جیره نشخوار کنندگان، ارقام سورگوم به لحاظ تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی، ترکیبات شیمیایی متفاوتی دارند. در مطالعه‌ای که با ۳۶ رقم سورگوم کشت شده در ایران صورت گرفت، مقدار پروتئین از ۹/۵ تا ۱۴، الیاف نا محلول در شوینده اسیدی (ADF) ۳ تا ۱۸، چربی ۱/۵ تا ۴/۵ و تانن ۰/۰۲ تا ۱ درصد در بین ارقام مختلف متغیر بود. همچنین

سورگوم *Sorghum bicolor (L.) Moench* یکی از مهم‌ترین گیاهان مناطق خشک و نیمه خشک دنیاست و پس از گندم، برنج، ذرت و جو، پنجمین غله زراعی مهم جهان است (۳). به دلیل سازگاری گسترده دمایی و رطوبتی امکان کشت آن در اقلیم‌های مختلف از نظر دما، رطوبت و ارتفاع وجود دارد (۲ و ۳). از لحاظ نوع، سورگوم به دو دسته دانه‌ای و علوفه‌ای تقسیم می‌شود که در سورگوم دانه‌ای، از دانه گیاه جهت تغذیه انسان، دام و طیور و نیز در صنایع استفاده می‌گردد و نوع دوم ساقه و برگ جهت تعلیف دام به صورت مختلف (چرای مستقیم، علوفه تر، علوفه خشک) استفاده می‌-

۱ - دانشجوی دکتری، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

۲ - استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد،

۳ - استاد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ساسکاچوان، کانادا.

*-نویسنده مسئول: (Email: ghoolizadeh.hojat@gmail.com)

مواد و روشها

ارقام آزمایشی

به منظور حذف آثار محیط کشت، چهار رقم سورگوم تحت شرایط یکسان از ایستگاه تحقیقاتی اصلاح و تهیه نهال و بذرکرج تهیه گردید. بعد از برداشت ارقام در مرحله بلوغ یکسان و جدا کردن دانه از خوشه، از هر رقم نمونه‌های تصادفی جهت تعیین طیف فوریه مادون قرمز به آزمایشگاه منتقل شد. ارقام سورگوم مطالعه شده شامل: ۱- کیمیا، ۲- سپیده، ۳- M2 و ۴- M8 بود. دانه‌های سورگوم در آون در دمای ۴۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس با الک ۰/۵ میلی‌متر آسیاب شدند (Retsch ZM200, Rose Scientific Ltd., Canada). کلیه مراحل آسیاب و آزمایشات طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز در آزمایشگاه طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز دانشگاه ساسکاچوان، کانادا انجام شد.

آزمایش طیف سنجی مادون قرمز

آزمایش طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز (۵ تکرار به ازای هر نمونه) با استفاده از دستگاه JASCO FTIR-ATR-4200 (JASCO Corporation, Tokyo, Japan در دامنه عدد موج ۴۰۰۰-۸۰۰ در هر سانتی‌متر با ۲۵۶ اسکن انجام شد. طیف فوریه جذب نوری نمونه‌های آزمایش پس از تهیه برای تعیین و اندازه‌گیری سطح و ارتفاع گروه‌های عاملی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها با نرم افزار OMNIC 7.3 software Spectra Tech, Madison, WI, USA) استفاده شد. گروه‌های عاملی مولکول پروتئین مطالعه شده در این آزمایش شامل: سطح و ارتفاع پیک جذب پروتئین آمید ۱ (خط پایه: ۱۷۱۶-۱۵۷۴ در هر سانتی‌متر)، آمید ۲ (خط پایه: ۱۵۷۴-۱۴۸۳ در هر سانتی‌متر)، آلفا هلیکس (خط پایه: ۱۶۶۰-۱۶۴۸ در هر سانتی‌متر)، صفحات بتا، (خط پایه: ۱۶۴۰-۱۶۲۵ در هر سانتی‌متر) بود. پیک جذبی آلفا هلیکس و صفحات بتا به روش (Fourier self deconvolution (FSD)) با استفاده از نرم افزار OMNIC تعیین شد. در این روش پیک‌های جذبی در ناحیه پروتئین آمید ۱ (مانند آلفا هلیکس و صفحات بتا) که با یکدیگر همپوشانی دارند و در طیف فوریه انتقال مادون قرمز قابل شناسایی نمی‌باشند، قابل مشاهده و اندازه‌گیری هستند. کربوهیدرات‌ها نیز یکی از انواع مولکول‌های زیستی هستند که به دو گروه کربوهیدرات‌های ساختاری و غیر ساختاری تقسیم می‌شوند. گروه‌های عاملی مولکول کربوهیدرات مطالعه شده شامل: پیک جذب ۸۶۰ (کربوهیدرات غیر ساختاری، خط پایه: ۸۸۰-۸۱۸ در هر سانتی‌متر)، ۶- پیک جذب ۹۲۸ (کربوهیدرات غیر ساختاری، خط پایه: ۹۴۶-۸۸۰ در هر سانتی‌متر)، ۷- کربوهیدرات کل (خط پایه: ۱۱۸۶-۹۴۷ در هر سانتی‌متر) با سه پیک اصلی (۱۱۵۲-۱۰۷۴-۱۰۱۷ در هر سانتی‌متر)، ۸- ترکیبات سلولزی

انرژی قابل سوخت و ساز (AMEn) از ۲۷۵۰ تا ۳۵۴۰ کیلوکالری در کیلوگرم به ترتیب برای ارقام پر تانن و کم تانن بود (۴). چنگ و فولر (۶) گزارش کردند که سورگوم‌های پرتانن ارزش غذایی کمتری دارند و ارقامی که رنگ قهوه‌ای تیره دارند تانن بالاتر و ارزش غذایی کمتری خواهند داشت ولی مطالعات بعدی نشان داد که رنگ دانه شاخص مناسبی برای ارزیابی ارزش غذایی ارقام سورگوم نمی‌باشد (۲۰۰۸). بررسی ساختار فیزیکی و شیمیایی دانه سورگوم نشان داد که پروتامین‌ها بخش عمده‌ای از پروتئین دانه (۶۰-۵۰ درصد) را تشکیل می‌دهند (۹). اتصال قوی میان این پروتئین‌ها با نشاسته موجود در آندوسپرم، موجب کاهش تجزیه پذیری دانه سورگوم در شکمبه می‌شود (۷). استیفن و همکاران (۲۱) قابلیت هضم اسیدهای آمینه را در ۲۴ رقم سورگوم با استفاده از روش جمع آوری مدفوع تعیین کردند و نتیجه گرفتند که تفاوت‌های گسترده‌ای در قابلیت هضم اسیدهای آمینه در یک هیبرید و بین هیبریدهای مختلف وجود دارد. واریته، شرایط اقلیمی، خاک و نوع کود از عوامل مؤثر بر ترکیب شیمیایی و ارزش غذایی سورگوم می‌باشند. این نتایج نشان می‌دهد که بین ارقام مختلف سورگوم در ترکیب شیمیایی و قابلیت هضم مواد مغذی اختلاف وجود دارد.

پژوهش‌های اخیر انجام شده بر روی ساختار مولکولی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها با استفاده از روش طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز^۱ نشان دادند که غلات و واریته‌های درون غلات در ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات نیز اختلاف دارند (۱۳، ۱۴، ۱۵، ۲۳ و ۲۴). ساختار مولکولی پروتئین می‌تواند ارزش تغذیه‌ای پروتئین‌ها (به طور مثال حلالیت پروتئین‌ها و جذب آن از روده کوچک) و دسترسی آنزیم‌های گوارشی به پروتئین را تحت تأثیر قرار دهد (۲۶). کاهش قابلیت دسترسی آنزیم‌های گوارشی منجر به کاهش ارزش تغذیه‌ای پروتئین می‌شود (۷). روش‌های آنالیز تقریبی شیمیایی بعثت تخریب ساختار مولکولی در اثر استفاده از مواد شیمیایی قادر به تعیین ساختار مولکولی نمی‌باشند (۲۷). لذا طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز به عنوان روشی سریع، پر قدرت و توسعه یافته می‌تواند برای شناسایی مولکول‌ها و به خصوص گروه‌های عاملی مولکول‌ها مورد استفاده قرار گیرد. این روش بر اساس جذب تابش و بررسی جهش‌های ارتعاشی مولکول‌ها و یون‌های چند اتمی صورت می‌گیرد (۱۸ و ۲۱). جهت شناسایی و کاربرد سورگوم در جیره دام و طیور داشتن اطلاعات در رابطه با ساختار مولکولی مواد خوراکی می‌تواند سودمند باشد. لذا این مطالعه به منظور مقایسه ساختار مولکولی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها ارقام سورگوم با استفاده از روش طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز انجام شد.

^۱ Fourier Transform Infrared Spectroscopy

(۲۰ درصد) C-N و پیک جذب امید ۲ حاصل ارتعاشات کششی پیوندهای (۶۰ درصد) N-H و (۴۰ درصد) C-N می‌باشد (۲۶). ارتعاشات کششی پیوند های C-C، C-H، و C-O-H در مولکول کربوهیدرات باعث تشکیل پیک های جذبی در ناحیه طیف مولکولی کربوهیدرات می‌شود.

آنالیز یک متغیره سطح و ارتفاع گروه‌های عاملی پروتئین امید ۱، امید ۲، آلفا هلیکس و صفحات بتا نشان داد که ارقام سورگوم ساختار مولکولی پروتئینی متفاوتی به لحاظ سطح و ارتفاع پیک جذب امید ۱ (خط پایه: ۱۵۷۴-۱۷۱۶ در هر سانتی متر)، امید ۲ (خط پایه: ۱۴۸۳-۱۵۷۴ در هر سانتی متر)، آلفا هلیکس و صفحات بتا داشتند (جدول ۱؛ $p < 0.05$). کیمیا و M8 به ترتیب بیشترین و کمترین سطح و ارتفاع پیک جذب امید ۱، امید ۲، آلفا هلیکس و صفحات بتا را داشت. سطح و ارتفاع امید ۱، امید ۲، آلفا هلیکس و صفحات بتا بین سپیده، M2 و M8 مشابه بود. نسبت نشاسته به امید ۱ برای سپیده بیش از سایر تیمارها بود و ارقام کیمیا، M2 و M8 تفاوت معنی داری نداشتند.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که رقم تأثیر معنی داری بر ساختار مولکولی پروتئین سورگوم دارد. نتایج به دست آمده با نتایج لیو و همکاران (۱۴-۱۶) که گزارش کردند بین ارقام جو به لحاظ ساختار مولکولی پروتئین اختلاف وجود دارد مطابقت داشت. ماتریکس پروتئینی اطراف گرانول های نشاسته می‌تواند دسترسی میکروارگانسیم ها به گرانول های نشاسته و تجزیه نشاسته را تحت تأثیر قرار دهد (۱۹). علاوه بر ماتریکس پروتئینی اطراف گرانولهای نشاسته، درصد بالای صفحات بتا می‌تواند باعث کاهش دسترسی آنزیم های گوارشی شود (مانند پودر پر). در صفحه‌های بتا اسید آمینه‌هایی که معمولاً در ساختار اول زنجیره پروتئینی با فاصله زیاد از هم قرار گرفته اند برای تشکیل این ساختار در مجاورت یکدیگر قرار می‌گیرند. بنابراین صفحه‌های بتا تمایل به سختی داشته و انعطاف پذیری ناچیزی دارند. یو و همکاران (۳۰) گزارش کردند که ارتباط مستقیمی بین نسبت آلفا هلیکس به صفحات بتا با درصد پروتئین عبوری و بخش C پروتئین در سیستم پروتئین و کربوهیدرات کرنل وجود داشت.

همچنین گزارش کردند که نسبت امید ۱ به ۲ نیز ارتباط مثبتی با بخش A، B سیستم پروتئین و کربوهیدرات کرنل و پروتئین کل قابل هضم داشت. والکر و همکاران (۲۲) گزارش کردند که ساختار مولکولی پروتئین امید ۱، نشاسته، نسبت امید ۱ به نشاسته، آلفا هلیکس، صفحات بتا و نسبت آنها بین واریته های جو تفاوت معنی داری داشت. مقدار پیک جذبی پروتئین امید ۱، امید ۲، آلفا هلیکس و صفحات بتا در این آزمایش برای کیمیا و M8 به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار بود، لذا انتظار می‌رود که این ارقام به لحاظ تجزیه پذیری شکمبه ای نیز با هم اختلاف داشته باشند. باتوجه به مقادیر

(خط پایه: ۱۲۹۱-۱۱۸۶ در هر سانتی متر) بود (۱۱، ۱۶، ۱۷، ۲۳). نسبت های مختلف گروه های عاملی مولکول‌های پروتئینی و کربوهیدراتی با تقسیم سطح و ارتفاع گروه های عاملی نسبت به یکدیگر به دست آمد.

آنالیز آماری

داده ها با استفاده از آنالیز یک متغیره و چند متغیره آنالیز شد. برای آنالیز یک متغیره از رویه آماری MIXED نرم افزار SAS استفاده شد. مدل استفاده شده برای آنالیز به صورت کاملاً تصادفی بود. میانگین داده ها با استفاده از آزمون توکی مقایسه شدند و سطح معنی داری $P < 0.05$ در نظر گرفته شد. مدل آماری استفاده شده به صورت $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود. Y_{ij} = مشاهدات مستقل (گروه‌های عاملی مولکول پروتئین و کربوهیدرات)، μ = میانگین کل، T_i = اثر تیمار (به عنوان اثر ثابت)، e_{ij} = اثر خطای آزمایش بود. آنالیز خوشه‌ای و تجزیه مؤلفه های اصلی از روش های آماری چند متغیره هستند که می‌توان از آنها برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات رویه رو هستیم و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود. در آنالیز خوشه ای مشاهدات در کلاس‌هایی (خوشه‌هایی) گروه بندی می‌شوند طوری که افراد مشابه در داخل یک کلاس قرار می‌گیرند. در روش تحلیل مؤلفه های اصلی، متغیرهای اولیه به مؤلفه های جدید و مستقل تبدیل می‌شوند و سپس از این مؤلفه ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. مؤلفه‌های جدید ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند. بعلاوه چون در تشکیل مؤلفه ها از تمام متغیرها استفاده می‌گردد، در نتیجه اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات به وسیله مؤلفه های حاصل ارائه می‌شود و باعث از دست دادن جنبه های اطلاعاتی داده ها نمی‌شوند. جهت گروه بندی نمونه ها از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) و تجزیه مؤلفه‌های اصلی از نرم افزار Statistica 8.0 software Stat soft, Inc., USA استفاده شد (۲۳).

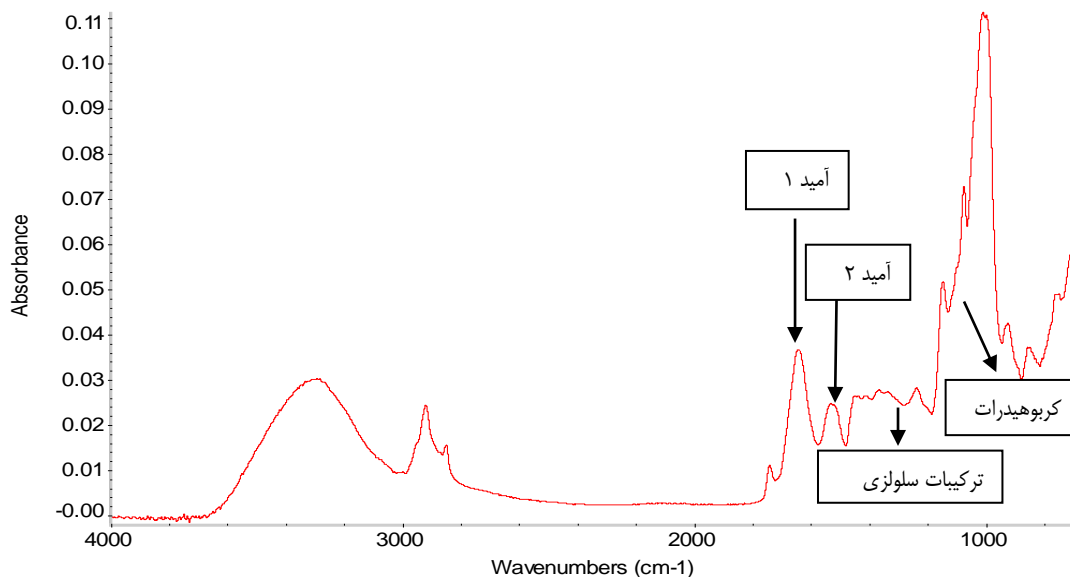
نتایج و بحث

آنالیز یک متغیره گروه‌های عاملی پروتئین ارقام سورگوم

طیف نوری فوریه انتقال مادون قرمز و گروه‌های عاملی مولکول پروتئین و کربوهیدرات مطالعه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. طیف سنجی فوریه مادون قرمز بر اساس جذب تابش و بررسی جهش های ارتعاشی مولکول ها و یون های چند اتمی صورت می‌گیرد (۱۸ و ۲۱). در این روش هر ماده ای طیف مادون قرمز مخصوص به خود دارد و همانند اثر انگشت مختص خود مولکول می‌باشد. پیک جذبی امید ۱ در نتیجه ارتعاشات کششی پیوند (۸۰ درصد) C=O و

ای هم بستگی دارد. آزمایشات بیشتری لازم است تا ارتباط بین ساختار مولکولی پروتئین با قابلیت هضم و قابلیت دسترسی مواد مغذی در نشخوارکنندگان و تک معده ایها بررسی شود.

آمید ۱، آلفا هلیکس، صفحات بتا و نسبت آنها انتظار می رود که رقم کیمیا تجزیه پذیری بیشتری نسبت به سایر ارقام داشته باشد. البته باید توجه داشت که کیفیت پروتئین و ارزش مواد مغذی نه تنها به ساختار مولکولی بلکه به فاکتورهای دیگری مانند عوامل ضد تغذیه



شکل ۱- طیف فوریه انتقال مادون قرمز و گروه های عاملی مولکول پروتئین و کربوهیدرات مطالعه شده در ارقام سورگوم

جدول ۱- ساختار مولکولی گروه های عاملی پروتئین ارقام سورگوم مطالعه شده با طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز.

عنوان / ارقام	کیمیا	سپیده	M2	M8	SEM	P value
سطح پیک جذب آمید ۱	a1/۷۲۱	b1/۲۴۴	ab1/۴۶۲	b1/۲۷۶	۰/۰۶۳	۰/۰۱۵
ارتفاع پیک جذب آمید ۱	a۰/۰۲۷	b۰/۰۲۱	ab۰/۰۲۲	b۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۸
سطح پیک جذب آمید ۲	a۰/۴۸۱	b۰/۳۲۱	b۰/۳۷۳	b۰/۳۶۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲
ارتفاع پیک جذب آمید ۲	a۰/۰۰۹	b۰/۰۰۶	ab۰/۰۰۷	b۰/۰۰۷	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۵
سطح پیک جذب آمید ۱ و ۲	a۲/۲۰۳	b1/۵۶۵	ab1/۸۳۵	b1/۶۴۲	۰/۰۷۹	۰/۰۰۸
پیک جذب آلفا هلیکس	a۰/۰۲۶	b۰/۰۲۰	ab۰/۰۲۲	b۰/۰۲۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
پیک جذب بتا	a۰/۰۲۳	b۰/۰۱۸	ab۰/۰۱۹	b۰/۰۱۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱
نسبت سطح پیک جذب آمید ۱ به ۲	۳/۵۹۹	۳/۸۵۵	۳/۹۲۴	۳/۴۹۳	۰/۰۸۵	۰/۲۳۱
نسبت ارتفاع پیک جذب آمید ۱ به ۲	ab۲/۹۲۹	a۳/۲۰۲	ab۳/۰۱۹	b۲/۸۱۰	۰/۰۴۸	۰/۰۱۸
نسبت آلفا به بتا	۱/۱۴۹	۱/۱۰۵	۱/۱۴۴	۱/۱۱۱	۰/۰۰۹	۰/۲۳۸

کل (خط پایه: ۱۱۸۶-۹۴۷ در هر سانتی متر) با سه پیک اصلی (۱۱۵۲-۱۰۷۴-۱۰۱۷ در هر سانتی متر)، ترکیبات سلولزی (خط پایه: ۱۲۹۱-۱۱۸۶ در هر سانتی متر) را داشت. سپیده و M2 به لحاظ سطح و ارتفاع پیک جذبی کربوهیدرات بین دو رقم دیگر قرار داشتند. نتایج به دست آمده نشان می دهد که ارقام سورگوم علاوه بر ساختار مولکولی پروتئین به لحاظ ساختار مولکولی کربوهیدرات هم اختلاف دارند. کربوهیدرات های غیر ساختاری و نسبت بین کربوهیدرات های غیر ساختاری با ساختاری می تواند تجزیه پذیری و دسترسی میکروارگانسیم ها را تحت تأثیر قرار دهد. زانگ و یو (۳۳) گزارش

آنالیز یک متغیره ساختار مولکولی گروه های عاملی کربوهیدرات ارقام سورگوم

آنالیز یک متغیره سطح و ارتفاع پیک های جذبی کربوهیدرات در جدول ۲ نشان داده شده است. سطح و ارتفاع پیک جذبی کربوهیدرات های ساختاری و غیر ساختاری بین ارقام سورگوم تفاوت معنی داری داشت (جدول ۲؛ $P < ۰/۰۵$). کیمیا و M8 به ترتیب بیشترین و کمترین سطح و ارتفاع پیک جذب ۸۶۰ (کربو هیدرات غیر ساختاری، خط پایه: ۸۸۰-۸۱۸ در هر سانتی متر)، ۹۲۸ (کربوهیدرات غیر ساختاری، خط پایه: ۹۴۶-۸۸۰ در هر سانتی متر)، کربوهیدرات

سانتی متر) به ترتیب در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است. وجود دندوگرام مشترک بین ارقام در آنالیز خوشه ای ناحیه پروتئین (۲ الف) و کربوهیدرات (۳ الف) نشان می‌دهد که ارقام سورگوم به طور کامل در این ناحیه قابل تفکیک نبوده و دارای تشابهاتی به لحاظ ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات می‌باشند. در تجزیه مؤلفه های اصلی نقاطی که دارای فاصله کمی هستند دارای تشابه بیشتری می‌باشند و بر عکس نقاطی که از هم دور هستند اختلاف بیشتری دارند. آنالیز تجزیه مؤلفه های اصلی نیز نشان داد که ارقام سورگوم به طور کامل در ناحیه جذبی پروتئین (۲ب) و کربوهیدرات (۳ ب) با هم اختلاف ندارند و دارای تشابهاتی می‌باشند. نتایج آنالیز چند متغیره با نتایج آنالیز یک متغیره مطابقت داشت. در آنالیز یک متغیره سطح و ارتفاع یک نقطه از طیف فوریه مادون قرمز بررسی می‌شود در صورتی که در آنالیز چند متغیره کل داده های طیف فوریه مادون قرمز برای آنالیز استفاده می‌شود (۲۹). مقالات منتشر شده در زمینه تأثیر وارسته بر ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات سورگوم برای مقایسه داده های آزمایش اندک است. اما آزمایشات انجام شده بر روی ساختار مولکولی پروتئین ارقام جو نشان دادند که ارقام جو ساختار مولکولی پروتئین متفاوتی داشتند (۲۴). نتایج مشابهی توسط لیو و یو (۱۴) گزارش شده است. مقایسه ساختار مولکولی پروتئین بین غلات (گندم، درت و تریتیکاله) (۱۳) نشان داد که غلات در ساختار مولکولی پروتئین با هم دارای اختلاف هستند.

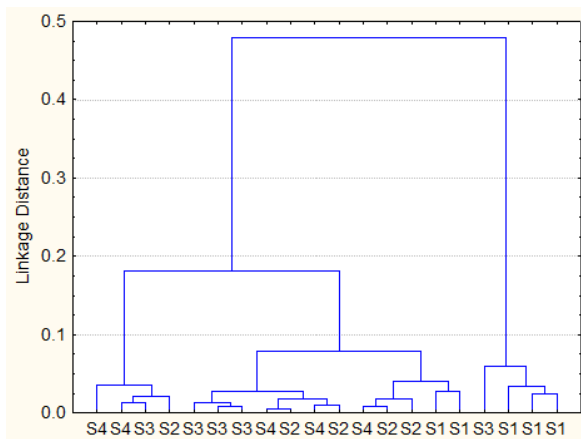
کردند که ارتباط مستقیمی بین ساختار مولکولی کربوهیدرات با مصرف و قابلیت دسترسی کربوهیدرات در نشحوارکنندگان وجود دارد. تحقیقات انجام شده بر ساختار مولکولی وارسته های جو با استفاده از طیف سنجی فوریه مادون قرمز نشان دادند که وارسته های جو ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات متفاوتی داشتند (۲۸). یو و دمیران (۳۱) ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات چهار وارسته جو را مقایسه کردند و گزارش کردند که وارسته های جو به لحاظ کربوهیدرات کل با هم تفاوتی نداشتند، اما به لحاظ پروتئین آمید ۱ و ۲ و نسبت آنها با هم تفاوت داشتند. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ساختار مولکولی ترکیبات شیمیایی بین غلات (۱۳،۲۲) و بین وارسته های درون غلات (۱۵،۲۲) تفاوت معنی داری دارند.

آنالیز چند متغیره طیف نوری ارقام سورگوم

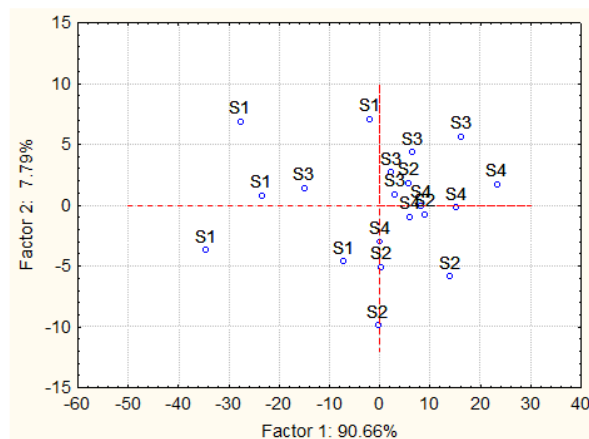
آنالیز خوشه ای و تجزیه مؤلفه های اصلی دو روش اصلی آنالیز چند متغیره می‌باشند. هدف از خوشه بندی داده ها آن است که مشاهدات را به گروه‌های متجانس تقسیم کنیم، به طوری که مشاهدات هر گروه بیشترین شباهت و مشاهدات گروه های مختلف کمترین شباهت را با هم داشته باشند. در تجزیه مؤلفه های اصلی، متغیرهای اولیه به مؤلفه های جدید و مستقل تبدیل می‌شوند و سپس از این مؤلفه ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌گردد. نتایج آنالیز خوشه ای و تجزیه مؤلفه های اصلی ارقام سورگوم در ناحیه پروتئین (۱۴۸۵-۱۷۲۰ در هر سانتی متر) و کربوهیدرات (۹۵۰-۱۱۸۰ در هر

جدول ۲- ساختار مولکولی گروه های عاملی کربوهیدرات ارقام سورگوم مطالعه شده با طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز

عنوان/ارقام	کیمیا	سپیده	M2	M8	SEM	P value
سطح پیک جذب ۸۶۰	a./۲۸۱	ab./۲۶۸	ab./۲۳۲	b./۲۰۳	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶
ارتفاع پیک جذب ۸۶۰	a./۰۰۸	a./۰۰۸	ab./۰۰۷	b./۰۰۶	<۰/۰۰۱	۰/۰۲۵
سطح پیک جذب ۹۲۸	۰/۲۶۹	۰/۲۹۸	۰/۲۴۹	۰/۲۱۲	۰/۰۱۱	۰/۰۳۱
ارتفاع پیک جذب ۹۲۸	ab./۰۰۹	ab./۰۰۹	ab./۰۰۸	b./۰۰۶	<۰/۰۰۱	۰/۰۴۵
سطح پیک جذب کربوهیدرات کل	۱۲/۰۱۹	۱۱/۸۸۴	۱۰/۳۴۰	۹/۱۹۷	۰/۴۱۷	۰/۰۳۳
سطح پیک ۱ کربوهیدرات	a./۴۴۰	ab./۳۶۸	ab./۳۲۶	b./۲۵۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۳
سطح پیک ۲ کربوهیدرات	a./۲۳۹	a./۲۳۲	ab./۲۰۳	b./۱۷۲	۰/۰۰۹	۰/۰۱۹
سطح پیک ۳ کربوهیدرات	a۵/۴۸۳	a۵/۴۳۸	ab۴/۷۴۷	b۴/۰۲۹	۰/۲۰۷	۰/۰۲۵
ارتفاع پیک ۱ کربوهیدرات	a./۰۲۰	a./۰۱۸	ab./۰۱۶	b./۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
ارتفاع پیک ۲ کربوهیدرات	a./۰۱۷	a./۰۱۷	ab./۰۱۵	b./۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴
ارتفاع پیک ۳ کربوهیدرات	a./۰۸۷	a./۰۸۵	ab./۰۷۴	ab./۰۶۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۸
سطح پیک جذب ترکیبات سلولزی	۰/۱۹۵	۰/۱۸۲	۰/۱۶۶	۰/۱۶۱	۰/۰۰۵	۰/۱۱۴
ارتفاع پیک جذب ترکیبات سلولزی	a./۰۰۵	b./۰۰۴	b./۰۰۴	b./۰۰۴	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۴
نسبت سطح پیک جذب ۱ به ۲ کربوهیدرات	a۱/۸۳۳	b۱/۵۸۷	b۱/۶۰۴	b۱/۴۹۵	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱
نسبت سطح پیک جذب ۱ به ۳ کربوهیدرات	a./۰۸۰	b./۰۶۷	b./۰۶۸	b./۰۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
نسبت سطح پیک جذب ۲ به ۳ کربوهیدرات	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۸	۰/۹۲۸
نسبت سطح نشاسته به آمید ۱	b۳/۲۱۱	a۴/۵۷۳	b۳/۲۵۰	b۳/۱۵۳	۰/۱۸۹	۰/۰۰۷

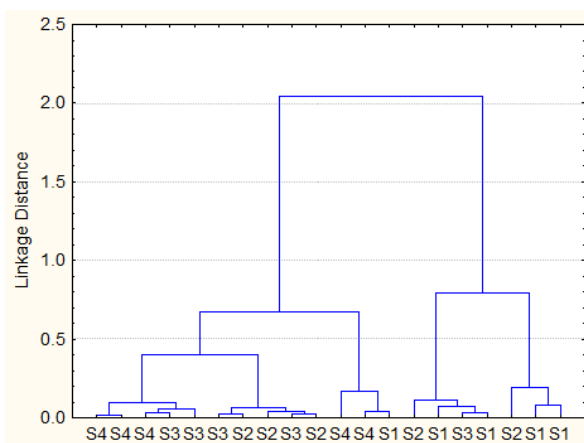


(الف)

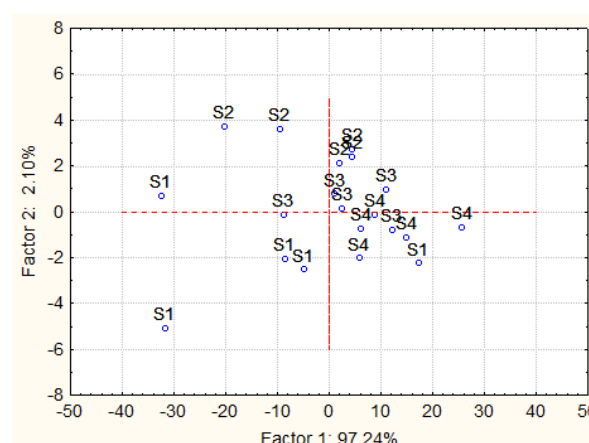


(ب)

شکل ۲- آنالیز خوشه ای (الف) و تجزیه مؤلفه های اصلی (ب) طیف جذب نوری فوریه انتقال مادون قرمز ارقام سورگوم (S1=کیمیا، S2=سپیده، M2=S3، M8=S4) در دامنه طول موج: ۱۷۲۰-۱۴۸۰ در هر سانتی متر.



(الف)



(ب)

شکل ۳- آنالیز خوشه ای (الف) و تجزیه مؤلفه های اصلی (ب) طیف جذب نوری فوریه انتقال مادون قرمز ارقام سورگوم (S1=کیمیا، S2=سپیده، M2=S3، M8=S4) در دامنه طول موج: ۱۱۸۰-۹۵۰ در هر سانتی متر.

نتیجه گیری

و به خصوص گروه عاملی مولکول ها استفاده شود. اطلاعات حاصل از این آزمایش می تواند برای برنامه های اصلاح و توسعه بذر جهت تولید بذر با اهداف خاص تغذیه ای هم برای تک معده ای ها و هم برای نشخوارکنندگان نیز به کار رود. آزمایشات و واریته های بیشتری لازم است تا ارتباط بین ساختار مولکولی ترکیبات شیمیایی با نرخ، مقدار تجزیه پذیری و قابلیت دسترسی مواد مغذی بررسی شود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه ساسکاچوان کانادا و مرکز اصلاح و تهیه نهال و بذر مشهد و کرج کمال تشکر و امتنان را داریم.

مقایسه ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات بین ارقام سورگوم با استفاده از طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز نشان داد که تأثیر رقم بر ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات سورگوم معنی دار می باشد. رقم کیمیا و M8 به ترتیب بیشترین و کمترین سطح و ارتفاع پیک جذب آمید ۱، آمید ۲، آلفا هلیکس، صفحات بتا، کربوهیدرات های ساختاری و غیر ساختاری را داشتند. تفاوت در ساختار مولکولی پروتئین و کربوهیدرات می تواند قابلیت دست رسی پروتئین و کربوهیدرات را در نشخوار کنندگان تحت تأثیر قرار دهد. نتایج این آزمایش همچنین نشان داد که روش طیف سنجی فوریه انتقال مادون قرمز به عنوان یک روش سریع، پر قدرت و توسعه یافته به همراه آنالیز یک و چند متغیره می تواند برای شناسایی مولکول ها

منابع

- ۱- هدایتی پور، ا.، م. خوروش، غ. قربانی، ع. المدرس، م. ر. عبادی. ۱۳۹۱. مقایسه خصوصیات شیمیایی و تجزیه پذیری انواع علوفه و سیلاژ سورگوم با ذرت در شرایط آزمایشگاهی و روش کیسه های نایلونی. نشریه پژوهش‌های علوم دامی ایران جلد ۴، شماره ۳. ۲۲۴-۲۳۲
- ۲- کوچکی، ع. ۱۳۶۴. زراعت در مناطق خشک. جهاد دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۳- کوچکی، ع.، ح. خیابانی، و غ. ح. سرمدنیا. ۱۳۶۶. تولید محصولات زراعی. جهاد دانشگاهی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴- عبادی، م.، ر. ج. پوررضا، م. خوروش، ک. ناظر عادل، و ع. المدرس. ۱۳۷۶. ترکیب مواد مغذی و انرژی قابل سوخت و ساز تعدادی از ارقام سورگوم دانه ای و مقایسه آن با دو رقم ذرت. علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۶۷-۱۶۶.
- ۵- شهاب الدین، م.، غ. قربانی، ا. اسدیان، م. علی خانی. ۱۳۸۹. جایگزینی سورگوم دانه ای به جای جو در جیره گاوهای شیری و اثر آن بر تولید و ترکیب شیر. نشریه کشاورزی. تحقیقات کشاورزی ایران. ۱۷:۱۹-۲۸.
- 6- Chang, S. L., and H. L. Fuller. 1964. Effects of tannin content of grain sorghum on their feeding value for growing chicks. *Poult. Sci.* 43:30-36.
- 7-Doiron, K. J., P. Yu., J. J. McKinnon., and D. A. Christensen. 2009. Heat-induced protein structures and protein subfractions in relation to protein degradation kinetics and intestinal availability in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 92:3319-3330.
- 8- Damron, B. L., G.M. Prine., and R. H. Harms. 1968. Evaluation of various bird resistant and non-resistant varieties grain sorghum for use in broiler diets. *Poult. Sci.* 47:1648-1650.
- 9-El Nour, N. A., D. B. Peruffo., and A. Curioni. 1998. Characterization of sorghum kafirins in relation of their crosslinking behavior. *J. Cereal Sci.* 28:197- 207.
- 10- Gualtieri, M., and S. Rapaccini. 1990. Sorghum grain in poultry feeding. *World's Poult. Sci. J.* 46:246-254.
- 11-Hibberd, C. A., D. G. Wagner., R. L. Hintz., and D. D. Griffin. 1985. Effect of sorghum grain variety and reconstitution on site and extent of starch and protein digestion in steers. *J. Anim. Sci.* 61:702- 711.
- 12-Jackson, M., and H. H. Mantsch. 2000. Ex-vivo tissue analysis by infrared spectroscopy. Pages 131-156 in *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. R. A. Meyers ed. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- 13-Liu, B., P. Thacker., J. McKinnon., and P. Yu. 2013. In-depth study of the protein molecular structures of different types of dried distillers grains with solubles and their relationship to digestive characteristics. *J. Sci. Food Agric.* 6:1438-1448.
- 14-Liu, N., and P. Yu. 2010. Using DRIFT molecular spectroscopy with uni- and multivariate spectral techniques to detect protein molecular structure differences among different genotypes of barley. *J. Agric. Food Chem.* 58:6264-6269.
- 15-Liu, N., and P. Yu. 2011. Molecular clustering, interrelationships and carbohydrate conformation in hull and seeds among barley varieties. *J. Cereal Sci.* 53:379-383.
- 16-Liu, N., and P. Yu. 2010. Characterize microchemical structure of seed endosperm within a cellular dimension among six barley varieties with distinct degradation kinetics, using ultraspatially resolved synchrotron-based infrared microspectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 58:7801-7810.
- 17-Marinkovic, N. S., and R. M. Chance. 2005. Synchrotron infrared microspectroscopy. Pages 671-708 in *Encyclopedia of Molecular Cell Biology and Molecular Medicine*. R. Meyers ed. Wiley Inc, New York.
- 18-Marinkovic, N. S., R. Huang., P. Bromberg., M. Sullivan., J. Toomey., L. M. Miller., E. Sperber., S. Moshe., K. W. Jones., E. Chouparova., S. Lappi., S. Franzen., and M. R. Chance. 2002. Center for synchrotron biosciences' U2B beamline: An international resource for biological infrared spectroscopy. *J. Synchrotron Radiat.* 9:189-197
- 19-McAllister, T. A., R. C. Phillippe., L. M. Rode., and K. J. Cheng. 1993. Effect of the protein matrix on the digestion of cereal grains by ruminal microorganisms. *J. Anim Sci.* 71:205-212.
- 20-Stephenson, E. L., J. O. York., D. B. Bragg., and C.A. Ivy. 1970. The amino acid content and availability of different strains of grain sorghum to the chick. *Poult. Sci.* 67:108-112.
- 21-Wetzel, D. L., A. J. Eilert., L. N. Pietrzak., S. S. Miller., and J. A. Sweat. 1998. Ultraspatially resolved synchrotron infrared microspectroscopy of plant tissue in situ. *Cell. Mol. Biol.* 44:145-167.
- 22-Walker, A. M., P. Yu., R. C. Christensen., A. D. Christensen., and J. J. McKinnon. 2009. Fourier transform infrared microspectroscopic analysis of the effects of cereal type and variety within a type of grain on structural makeup in relation to rumen degradation kinetics. *J. Agric. Food Chem.* 57:6871-6878.
- 23-Yu, P. 2005. Protein secondary structures (α -helix and β -sheet) at a cellular level and protein fractions in relation to rumen degradation behaviours of protein: A new approach. *British J. Nutri.* 94:655-665.
- 24-Yu, P. 2006. Molecular chemical structure of barley proteins revealed by ultra spatially resolved synchrotron light sourced FTIR microspectroscopy: Comparison barley varieties. *Biopolymers.* 85:308-317.
- 25-Yu, P. 2006. Synchrotron IR microspectroscopy for protein structure analysis: Potential and questions.

- Spectroscopy. 20:229-251.
- 26-Yu, P., A. Jonker., and M. Gruber. 2009. Molecular basis of protein structure and nutritive value in proanthocyanidin-enhanced Lc-transgenic alfalfa using synchrotron-radiation FTIR microspectroscopy. *Spectrochim Acta part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 73:846-853.
- 27-Yu, P., J. J. McKinnon., R. C. Christensen., and A. D. Christensen. 2004. Imaging molecular chemistry of pioneer corn. *J. Agric. Food Chem*. 52:7345-7352.
- 28-Yu, P. 2012. Study of barley grain molecular structure for ruminants using DRIFT, FTIR-ATR and Synchrotron Radiation Infrared Microspectroscopy (SR-IMS): A Review. *J. Phys: Conf. Ser.* 359: 1-10
- 29-Yu, P. 2005. Applications of hierarchical cluster analysis (CLA) and principal component analysis (PCA) in feed structure and feed molecular chemistry research, using synchrotron-based fourier transform infrared (FTIR) microspectroscopy. *J. Agric. Food Chem*. 53:7115-7127.
- 30-Yu, P., and W. G. Nuez-Ortin. 2010. Relationship of protein molecular structure metabolisable proteins in different types of dried distillers grains with solubles: a novel approach. *Brit. J. Nutri*. 104:1429-1437
- 31-Yu, P., and D. Damiran. 2010. Comparison of structural makeup of four hullless barley variety varieties using diffuse reflectance infrared fourier transform (DRIFT) spectroscopy. Page 1-3 in *Soils & crops conference*, Saskatoon, SK; Canada.
- 32-Yahaghi, M., J. B. Liang., J. Balcells., R. Valizadeh., A. R. Alimon., and Y. W. Ho. 2012. Effect of replacing barley with corn or sorghum grain on rumen fermentation characteristics and performance of Iranian Baluchi lamb fed high concentrate rations. *Anim Pro. Sci*. 52: 263-268
- 33- Zhang, X., and P. Yu. 2012. Relationship of carbohydrate molecular spectroscopic features in combined feeds to carbohydrate utilization and availability in ruminants. *Spectrochimica Acta Part A*. 92:225- 233.