

ارتباط بین ساختارهای ملکولی FTIR منابع فیبر علوفه ای با ویژگی های تجزیه پذیری شکمبه ای در گوسفند

راضیه مرادی^۱، مجتبی یاری^{۲*}، سعیدخلجی^۳

^{۱،۲،۳} گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر

مشخصات مقاله

کلمات کلیدی: منابع فیبر
علوفه ای، تجزیه پذیری شکمبه
ای، مواد مغذی، FTIR،
گوسفند

دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۱۳

آنلاین: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

*مسئول مکاتبات:

مجتبی یاری

آدرس ایمیل:

mojyari@gmail.com

چکیده

آزمایش حاضر به منظور ارتباط بین ویژگی های تجزیه پذیری شکمبه ای منابع فیبر علوفه ای با ساختارهای ملکولی FTIR آن ها در تغذیه گوسفند طراحی گردید. منابع فیبر علوفه ای شامل کاه، سیلاژ ذرت و یونجه بودند. آزمایشات ترکیب شیمیایی و کیسه گذاری بر روی نمونه ها انجام شد. تجزیه پذیری شکمبه ای ماده خشک، ماده آلی و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) در سه بخش (بخش سریع تجزیه: a، بخش کند تجزیه: b و نرخ تجزیه در ساعت: c) اندازه گیری شد. همچنین ساختارهای مولکولی با طیف سنجی FTIR بررسی شد. نتایج نشان داد پروتئین خام یونجه خشک شده بیشتر از سایر علوفه ها بود و سیلاژ ذرت دارای بالاترین خاکستر و چربی خام بود ($P < 0.05$). کاه گندم بالاترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی، اسیدی و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی را داشت ($P < 0.05$). ویژگی های تجزیه پذیری شکمبه ای مواد مغذی مشابه بود به جز بخش سریع تجزیه NDF که در کاه گندم از سایر علوفه ها بیشتر بود ($P < 0.05$). مقدار NDF قابل تجزیه در ۲۸۸ ساعت از انکوباسیون شکمبه ای در کاه گندم بیشتر از سایر علوفه ها بود ($P < 0.05$). ارتفاع پیک مربوط به FTIR در ناحیه های مختلف بین یونجه خشک شده، سیلاژ ذرت و کاه گندم اندازه گیری شده و مشاهده شد نسبت ارتفاع پیک کربوهیدرات های ساختاری به کل کربوهیدرات ها در یونجه بیشتر از سیلاژ ذرت و کاه بود ($P < 0.05$). با استفاده از آنالیز مولفه های اصلی، ناحیه کربوهیدرات های کل و کربوهیدرات های ساختاری، در بین علوفه ها متمایز شد. همبستگی منفی و نسبتا بالایی بین پتانسیل تجزیه پذیری ماده خشک به کربوهیدرات های ساختاری و همچنین کربوهیدرات های کل وجود داشت. نتیجه کلی اینکه، هرچقدر کربوهیدرات های ساختاری و کربوهیدرات های کل تعیین شده با FTIR در نمونه علوفه بالاتر باشد پتانسیل تجزیه پذیری شکمبه ای پایین می آید.



© 2025 Novel Research in Animal Science (NRAS), Lorestan University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

مقدمه

تعیین ارزش غذایی مواد خوراکی به طریقی که در تغذیه دام کاربرد دارند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نشخوارکنندگان نقش مهمی در تامین پروتئین مورد نیاز انسان داشته و از این رو تامین نیازهای تغذیه‌ای آن‌ها به منظور پرورش و تولید مطلوب دارای اهمیت بالایی است. از طرفی به منظور تهیه و تنظیم یک جیره غذایی، نیاز به ارزشیابی مواد خوراکی از نظر تامین مواد مغذی مورد نیاز است. یکی از این مواد مغذی فیبر جیره می‌باشد. غذای اولیه و پایه دام علوفه است. مسئله اساسی و مهم که در بخش تغذیه نشخوارکنندگان مطرح می‌شود، قسمت فیبرجیره می‌باشد، که به اجزای الیاف نامحلول در شوینده-ی خنثی (NDF)، الیاف نامحلول در شوینده-ی اسیدی (ADF) تقسیم می‌شود. تغذیه نشخوارکنندگان اهلی با علوفه با کیفیت موجب بهبود رشد و افزایش تولید در آن‌ها می‌شود. گیاهان علوفه‌ای از بافت‌های مختلف تشکیل شده‌اند که بخش عمده‌ی آن‌ها را دیواره سلولی در بر می‌گیرد. غلظت دیواره سلولی در علوفه‌ها بالا بوده و همین امر موجب کاهش قابلیت هضم آن‌ها می‌شود (۱).

در ایران، علوفه یونجه و سیلاژ ذرت به عنوان اصلی‌ترین منابع علوفه‌ای در جیره نشخوارکنندگان مطرح هستند و به طور کلی جیره‌ها براساس این دو منبع علوفه‌ای متوازن می‌شوند. از بین این دو منبع علوفه‌ای، علوفه یونجه دارای درصد پروتئین خام بالاتری نسبت به سیلاژ ذرت است. در مقابل سیلاژ ذرت دارای انرژی بالاتر بوده و باعث افزایش الیاف موثر، نشاسته، کربوهیدرات‌های محلول و رطوبت جیره

می‌شود و بر محتوای ماده خشک جیره و مصرف خوراک تاثیر مثبت می‌گذارد (۲ و ۴). از دیگر ویژگی‌های یونجه آن است که تقریباً در تمامی شرایط آب‌وهوایی قابلیت رشد دارد؛ از این رو بخش عمده‌ای از علوفه‌ی مورد نیاز دامپروری کشور از طریق کشت یونجه تامین می‌شود (۳). معمولاً از کاه غلات به عنوان عامل پرکننده در جیره استفاده می‌شود ولی در جیره‌های دام‌های پرتولید نقش مهمی در تامین فیبر موثر فیزیکی برای تحریک نشخوار و سلامت شکمبه دارد. طبق آمار وزارت جهاد کشاورزی ایران، برای سال زراعی ۱۴۰۲ تا ۱۴۰۳، سالانه تولید کاه (گندم و جو) در ایران به مقدار حدوداً (۱۸/۵ و ۳/۸ میلیون تن به ترتیب) ۲۲/۳ میلیون تن گزارش شده است. مقدار تولید ذرت علوفه‌ای، ۱۳/۷ میلیون تن و برای یونجه، ۳/۷ میلیون تن گزارش شده است (۴).

در سال‌های اخیر استفاده از روش اسپکتروسکوپی مادون قرمز با تبدیل فوریه (FTIR) در بررسی گروه‌های عاملی و ساختارهای مولکولی مواد مغذی تشکیل دهنده خوراک‌ها به ویژه در بخش پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها مطرح شده است. در این روش که خیلی سریع انجام می‌شود، از مواد شیمیایی مانند اسید و باز در آنالیز استفاده نمی‌شود و بنابراین مخرب محیط زیست نیست و تکنیکی سودمند در راستای بررسی ساختار مولکولی مواد خوراکی رایج در تغذیه دام مطرح شده است. در این روش اشاره شده است که ساختارهای مولکولی مواد مغذی با ویژگی‌های هضم‌پذیری و گوارش‌پذیری و نیز میزان تأثیرپذیری آن‌ها از آنزیم‌های دستگاه گوارش ارتباط دارند. بنابراین، بررسی این ساختارها می‌تواند به‌طور غیرمستقیم نشان دهد

که مواد خوراکی چه میزان پتانسیل برای قابلیت هضم و تأمین مواد مغذی در دستگاه گوارش دام دارند (۵). هدف از این آزمایش بررسی ارتباط ساختار ملکولی مواد مغذی با FTIR با ترکیب شیمیایی، تجزیه پذیری شکمبه، منابع فیبر علوفه ای مختلف (یونجه، کاه، سیلاژ ذرت) می باشد.

مواد و روش‌ها

تعداد شش نمونه از منابع فیبر علوفه ای، کاه گندم، یونجه و سیلاژ ذرت که طی جمع آوری در دو مرحله از گاوداری پگاه (بلوک ۱) و گاوداری بنیاد (بلوک ۲) در شهرستان ملایر جمع آوری شد. به این صورت که از گاوداری پگاه یک نمونه برای سیلاژ ذرت، کاه و یونجه گرفته شد و از گاوداری بنیاد هم یک نمونه برای هر کدام از اقلام مورد آزمایش گرفته شد. در کل برای هر کدام از سه خوراک مورد آزمایش دو تکرار وجود داشت (۲×۳) و در کل شش نمونه وجود داشت. سعی شد برای نمونه برداری از هر خوراکی، حداقل از چند تکرار و مخلوط شدن آن ها با هم، نمونه گرفته شود.

نمونه های فیبر علوفه ای طبق روش استاندارد فرآیند آزمایش، ابتدا به وسیله آسیاب دارای غربال یک میلی متری آسیاب شدند و از هر کدام سه تکرار برداشته شد و سپس تجزیه تقریبی مواد خوراکی شامل ماده خشک، خاکستر خام، پروتئین خام با استفاده از دستگاه کج‌دال و عصاره اتری با استفاده از دستگاه سوکسله (۶) انجام شد. اندازه گیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی (ADL) طبق روش ون

سوست و همکاران (۷) قبل و چه بعد از کیسه گذاری در شکمبه صورت گرفت.

آزمایشات کیسه گذاری بر روی دو رأس گوسفند نر افشاری فیستولا شده، با میانگین وزنی ۸۰ کیلوگرم موجود در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه ملایر انجام شد. از یونجه خشک و کنسانتره به عنوان اجزا تشکیل دهنده جیره دام ها استفاده شد. جیره غذایی با در نظر گرفتن محدودیت غذایی با توجه به نیازهای تغذیه ای دام بر اساس جداول NRC تنظیم شد (۸). گوسفندها دسترسی آزاد به آب داشتند و در طول مدت آزمایش روزانه یک کیلوگرم از جیره حاوی علوفه و کنسانتره (در سطح نگهداری) به صورت مخلوط در دو وعده کاملاً مساوی در ساعات ۰۹:۰۰ و ۱۶:۰۰ تغذیه شدند تا سبب رشد و تراکم مناسب جمعیت میکروبی در طول زمان تخمیر نمونه ها در شکمبه گردد. در طول دو هفته اول دوره آزمایش، گوسفندان به جیره ها عادت داده شدند.

به منظور تعیین کینتیک تجزیه پذیری ماده خشک، ماده آلی و NDF فیبر علوفه ای، ابتدا از هر علوفه به مقدار مورد نیاز نمونه تهیه و برداشت شد. نمونه ها با آسیاب دارای الک دو میلی متری آسیاب شده و به مقدار دو تا سه گرم داخل کیسه هایی از جنس داکرون به ابعاد ۱۰×۵ سانتی متر (به ازای هر یک سانتی متر مربع سطح ۱۰ تا ۲۰ میلی گرم نمونه گذاشته شد) ریخته شدند و با استفاده از نخ در کیسه ها بسته شد. طول نخ به گونه ای بود که به هنگام گذاشتن در شکمبه، به طول ۲۰ سانتی متر (زمانی که از گوسفند فیستولا شده استفاده شود) در داخل شکمبه آویزان شد. کیسه های مربوط به هر زمان به طور تصادفی به هر دام اختصاص داده شده و به طور

همزمان در داخل شکمبه قرار داده شدند. تمام کیسه‌هایی که در زمان‌های ۰، ۳، ۶، ۱۲، ۲۴، ۲۸۸، ۷۲، ۴۸ ساعت در داخل شکمبه گذاشته شده بودند، پس از خروج از شکمبه در سطل آب سرد شستشو داده شد، تا هنگامی که آب کاملاً زلال از آن‌ها خارج شد. سپس کیسه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون (۵۵ تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد تا کاملاً خشک شوند. کیسه‌های مربوط به زمان‌های صفر (که وارد شکمبه نشدند و فقط در آب به روش ذکر شده شسته شده‌اند) هم در دو کیسه به ازای هر نمونه در شرایط مشابهی با سایر کیسه‌ها شسته و خشک شد. تعداد کیسه‌ها در زمان‌های مختلف به ازای هر نمونه در انکوباسیون به ترتیب ۲، ۲، ۲، ۳، ۴، ۵، ۵، ۶ برای ساعت‌های مختلف در انکوباسیون بود. کیسه‌ها پس از خروج از آون داخل دسیکاتور گذاشته شدند و پس از سرد شدن به دقت وزن شد و بقایای نمونه‌ها در کیسه‌ها از هر علفه در هر زمان و در هر بلوک برای اندازه‌گیری ماده خشک، پروتئین خام، ماده آلی، NDF با هم ترکیب شدند (۳).

طیف سنجی FTIR با استفاده از دستگاه FTIR (Bruker, Germany Alpha II)، گراف‌ها از ناحیه (۸۰۰ تا ۴۰۰۰ عدد موجی) تولید شد. بعد از آماده‌سازی و آسیاب نمونه به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه ملایر انتقال داده شد و از هر نمونه ۲۰۰ میلی گرم اخذ شد. نمونه‌ها با یک میلی گرم پودر برماید پتاسیم مخلوط و با استفاده از دستگاه پرس دستی فشرده شد. قرص نمونه آماده شده برای طیف سنجی در دستگاه FTIR قرار داده شد. قله جذب مربوط به لرزش کل کربوهیدرات‌ها (TCHO) که مرتبط با گروه‌های عاملی C-C و C-O است و به صورت

کشیده و جمع شده حرکت می‌کنند و همچنین دفرمه شدن C-O-H، در ناحیه ۹۰۰ تا ۱۱۸۰ عدد موجی قابل تشخیص می‌باشد. قله جذب مربوط به لرزش کربوهیدرات‌های ساختاری؛ بتا گلوکان‌ها، همی سلولز و سلولز) در ناحیه ۱۱۸۸ تا ۱۵۸۵ عدد موجی قابل تشخیص هستند (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

برای تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تجزیه پذیری از رابطه زیر، توسط اورسکوف و مک دونالد (۱۴) به منظور برآورد تجزیه پذیری ماده خشک در نرم افزار SAS (۱۵) استفاده شد:

$$P = a + b(-ct)$$

که در آن P، درصد تجزیه پذیری در زمان t؛ a: بخش سریع تجزیه و محلول؛ b: بخش کند تجزیه و نامحلول که به طور بالقوه تجزیه پذیر است؛ (a+b): مواد خوراکی که به طور بالقوه تجزیه پذیر هستند؛ c: سرعت تجزیه پذیری (درصد / ساعت)؛ t، زمان تجزیه پذیری است.

مراحل کیسه گذاری برای تجزیه پذیری ماده خشک و ماده آلی و NDF به روش کیسه گذاری در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام پذیرفت. سه علفه و دو بلوک برای هر علفه و داده‌های حاصل با proc mixed نرم افزار آماری SAS (۱۵) مورد تجزیه قرار گرفت. در این مدل اثرنوع علفه به عنوان اثر ثابت و اثر بلوک به عنوان اثر تصادفی در نظر گرفته شده و مدل آماری استفاده شده به صورت زیر بود:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij}$$

که در آن μ : میانگین کل جامعه آماری مورد مطالعه؛ T_i ، علفه i؛ B_j ، بلوک j؛ e_{ij} ، خطای مرتبط با مشاهده ij است. وقتی اثرات اصلی

معنی دار بودند از روش Tukey برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. میانگین‌ها به روش حداقل اختلاف معنی دار برآورد شدند (LSMEAN) و از برنامه pdmix80 برای گروه بندی کردن میانگین‌ها با حروف استفاده شد.

برای آنالیز واریانس چند متغیره برای ناحیه کربوهیدرات‌های کل و ساختاری از گراف‌های FTIR به دست آمده، از آنالیز مولفه‌های اصلی و خوشه‌ای به وسیله نرم افزار Origin (2024) استفاده شد. برای این آنالیز، ۵ تکرار از هر علوفه آنالیز شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی علوفه‌های مورد آزمایش

ترکیب شیمیایی علوفه‌های مورد آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است. بیشترین میزان پروتئین خام مربوط به یونجه خشک بود و کمترین میزان پروتئین خام را کاه گندم داشت ($P<0.05$). خاکستر سیلاژ ذرت بیشتر از کاه گندم و یونجه خشک شده بود ($P<0.05$). و کمترین میزان خاکستر مربوط به یونجه خشک بود. کمترین میزان چربی خام مربوط به کاه گندم بود ($P<0.05$) و چربی خام سیلاژ ذرت و یونجه خشک شده هر دو بالاتر از کاه گندم و نزدیک به هم بودند. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کاه گندم بالاتر از سیلاژ ذرت و یونجه خشک بود ($P<0.05$). و در یونجه خشک شده بالاتر از سیلاژ ذرت بود. الیاف نامحلول در شوینده خنثی نیز در کاه گندم بالاتر از یونجه خشک شده و سیلاژ ذرت بود و سپس در یونجه خشک شده بالاتر از سیلاژ ذرت بود. لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی نیز مانند الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول

درشوینده ی اسیدی کاه گندم بالاتر از یونجه و سیلاژ ذرت بود و بعد یونجه خشک شده بالاتر از سیلاژ ذرت بود. از نظر میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی قابل هضم در ۲۸۸ ساعت کاه گندم بالاتر از سایر علوفه‌ها بود و در یونجه خشک شده نیز بالاتر از سیلاژ ذرت بود. ترکیب شیمیایی مختلف در علوفه‌های مورد آزمایش می‌تواند به خاطر واریته گیاه و عوامل کاشت و داشت و برداشت باشد. لگوم‌ها (مانند یونجه) در مقایسه با گرامینه‌ها (مانند سیلاژ ذرت و کاه گندم) معمولاً دارای مقدار بالاتری پروتئین خام هستند (۱ و ۳) کربوهیدرات‌های ساختاری مانند سلولز و همی سلولز که بخش زیادی از NDF را تشکیل می‌دهند، در اتصال با بخش لیگنین، معمولاً از قابلیت هضم پایین برخوردار هستند. بنابراین بالاتر بودن بخش لیگنین که به صورت ADL اندازه گیری می‌شود، می‌تواند کاهنده قابلیت هضم باشد. علوفه‌ها معمولاً به دلیل جذب املاحی مانند پتاسیم از خاک، دارای غلظت بالای خاکستر هستند. چربی خام موجود در علوفه‌ها از اسیدهای چرب غیراشباع، موم‌ها، واکس‌ها و رنگ‌دانه‌ها تشکیل می‌شود که میزان آن در کاه، به دلیل کمتر بودن این ترکیبات نسبت به یونجه و سیلاژ ذرت، پایین‌تر است (۱۶).

جدول ۱. ترکیب شیمیایی علوفه های کاه گندم، یونجه و سیلاژ ذرت

علوفه های مورد آزمایش (برحسب درصد)					
فراسنجه های اندازه گیری شده (درصد)	سیلاژ ذرت	یونجه خشک شده	کاه گندم	انحراف استاندارد	سطح معنی داری
پروتئین خام (CP)	۷/۸۷ ^b	۱۳/۳۸ ^a	۲/۸۸ ^c	۱/۰۵	<۰/۰۱
خاکستر خام (Ash)	۱۰/۴۵ ^a	۹/۱۴ ^b	۹/۶۷ ^b	۰/۲۷	<۰/۰۵
چربی خام (EE)	۱/۷۸ ^a	۱/۷۶ ^a	۰/۸۴ ^b	۰/۲۴	<۰/۰۵
ADF	۳۳/۱۱ ^b	۳۴/۶۴ ^b	۵۶/۹۹ ^a	۳/۱۶	<۰/۰۵
NDF	۴۵/۷۰ ^c	۵۲/۹۴ ^b	۷۴/۱۸ ^a	۲/۲۳	۰/۰۱
ADL	۳/۵۰ ^c	۷/۸۱ ^b	۹/۲۵ ^a	۰/۵۱	<۰/۰۱
CHO	۷۹/۹۰ ^b	۷۵/۷۳ ^c	۸۶/۶۱ ^a	۰/۵۲	<۰/۰۱
ADL/CHO	۰/۰۴ ^b	۰/۱۰ ^b	۰/۱۰ ^b	۰/۰۱۵	۰/۰۵
NDFD۲۸۸	۴۳/۰۳ ^b	۴۷/۲۸ ^{ab}	۵۵/۵۵ ^a	۴/۴۹	۰/۰۵

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ADF؛ NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی ADL؛ لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی؛ CHO، کربوهیدرات های کل حاصل از فرمول $100 - (CP + EE + Ash)$ ؛ ADL/CHO، نسبت لیگنین به کل کربوهیدرات ها؛ NDFD، ضریب قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی هضم شده در ۲۸۸ ساعت از کیسه گذاری در شکمبه گوسفند؛ در هر ردیف میانگین ها با حروف مختلف (a, b و c)، اختلاف معنی داری دارند ($P < 0/05$).

کینتیک های تجزیه پذیری شکمبه ای مواد مغذی

به روش کیسه گذاری

تجزیه پذیری ماده خشک (DM)، ماده آلی (OM) و تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) در سه بخش (بخش سریع تجزیه (a)، بخش کند تجزیه (b) و نرخ تجزیه (c) در جدول ۲ نشان داده شده است. تجزیه پذیری ماده خشک یونجه، سیلاژ ذرت و کاه گندم تفاوت معنی داری نداشتند. همچنین در تجزیه پذیری ماده آلی در هر سه بخش (بخش سریع تجزیه، بخش کند تجزیه و نرخ تجزیه در ساعت) تفاوت معنی داری بین علوفه های آزمایشی مشاهده نشد ولی از نظر عددی کاه

گندم بیشترین مقدار و یونجه کمترین مقدار را داشتند. در خصوص تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی در بخش سریع تجزیه تفاوت معنی داری بین علوفه ها وجود داشت ($P < 0/05$). اما در بخش کند تجزیه علوفه ها اختلاف معنی داری بین علوفه ها نبود. همچنین در اندازه گیری نرخ تجزیه در ساعت مشاهده گردید علوفه کاه گندم کندتر از سایر علوفه ها بود ولی این کاهش نرخ تجزیه باعث اختلاف معنی داری بین آن ها نشد. این نتایج بیان می کند که در شرایط کیسه گذاری که مصرف خوراک در گوسفندان کم و ثابت است، تفاوت معنی داری بین تجزیه پذیری شکمبه ای منابع فیبر علوفه ای مورد استفاده در این آزمایش، وجود نداشت. با توجه به آنالیز شیمیایی این علوفه ها به نظر می رسد که کاه گندم به علت داشتن مقادیر بالای NDF و ADL، پتانسل تجزیه پذیری شکمبه ای کمتری

در مقایسه با سایر علوفه‌ها داشته باشد. ممکن است که اگر این علوفه‌ها در جیره‌هایی قرار داده شوند و در گوسفندان با تغذیه آزاد استفاده شوند، چون مصرف خوراک بیشتر خواهد بود و نرخ عبور از شکمبه افزایش پیدا خواهد کرد، علوفه‌ها زمان کافی برای هضم پیدا نخواهند کرد و بنابراین علوفه‌هایی که مقادیر NDF و ADL کمتری دارند سریعتر و به مقدار بیشتری تجزیه شوند و بنابراین پاسخ‌های تجزیه پذیری مواد مغذی متفاوت خواهد شد (۱، ۱۶، ۱۷ و ۱۸).

ساختار مولکولی کربوهیدرات‌های علوفه‌های مورد

آزمایش تعیین شده با طیف سنجی FTIR

گراف‌های FTIR علوفه‌های آزمایشی در شکل ۱ و آنالیز واریانس ناحیه کربوهیدرات‌های علوفه‌های آزمایشی در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از ساختار مولکولی در این مطالعه مشاهده شد ارتفاع پیک

کربوهیدرات‌های کل، کربوهیدرات‌های ساختاری و لیگنین، نسبت نسبت کربوهیدرات‌های ساختاری به کل کربوهیدرات‌ها بین علوفه‌ها مشابه بود ولی نسبت لیگنین به کل کربوهیدرات‌ها در کاه گندم در مقایسه با یونجه کمتر بود و سیلاژ ذرت مقدار متوسط داشت. نسبت لیگنین به کربوهیدرات‌های کل می‌تواند تحت تاثیر عواملی از جمله مرحله بلوغ و واریته علوفه قرار بگیرد (۱۰ و ۱۱). در این آزمایش، نسبت لیگنین (ADL) به کربوهیدرات‌های کل در آنالیز ترکیب شیمیایی یونجه و کاه بیشتر از سیلاژ ذرت بود (جدول ۱). با این حال، در آزمایش FTIR نتایج متفاوتی به دست آمد و این نسبت در یونجه بالاتر از دو علوفه دیگر گزارش شد (جدول ۳). این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در روش‌های اندازه‌گیری شیمیایی و مولکولی باشد؛ موضوعی که پیش‌تر نیز توسط سایر محققان گزارش شده است (۳ و ۱۹).

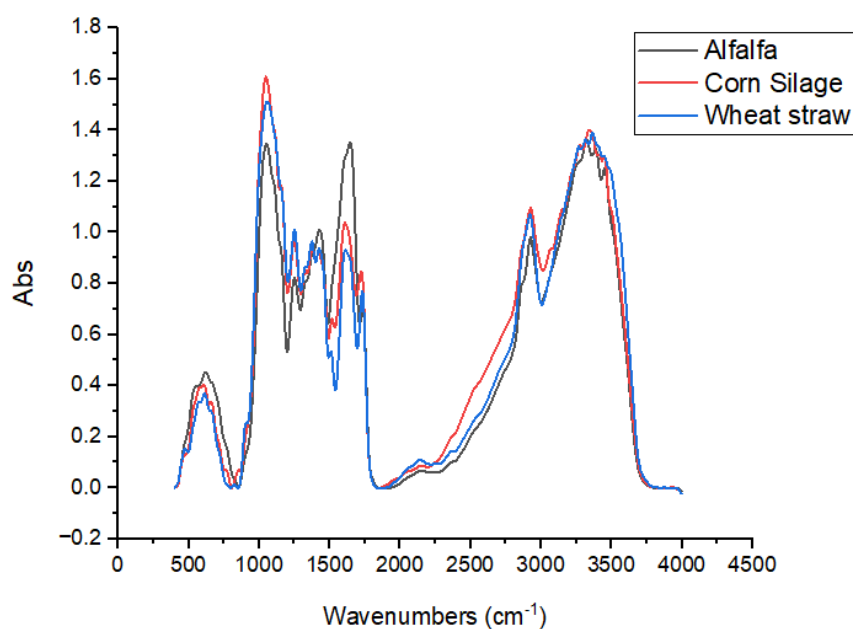
جدول ۲. کینتیک‌های تجزیه پذیری شکمبه‌ای مواد مغذی علوفه‌های یونجه، کاه گندم و سیلاژ ذرت به روش کیسه گذاری

یونجه خشک شده	سیلاژ ذرت	کاه گندم	SEM	سطح احتمال
تجزیه پذیری ماده خشک				
A	۰/۷۸	۱/۲۷	۱/۸۶	۰/۴۳
B	۴۹/۴۹	۵۰/۷۰	۵۰/۱۷	۶/۹۳
C	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱
تجزیه پذیری ماده آلی				
A	۲/۳۶	۶/۵۱	۸/۳۴	۱/۳۹
B	۵۳/۰۹	۵۵/۸۹	۵۴/۸۷	۶/۵۳
C	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱
تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی				
A	۰/۴۲	۱/۱۲	۴/۴۳	۰/۵۹
B	۲۹/۶۲	۳۸/۲۲	۲۷/۱۱	۰/۶۸
C	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲

a، بخش سریع تجزیه؛ b، بخش کند تجزیه؛ c، نرخ تجزیه در ساعت؛ تجزیه پذیری ماده خشک (DM)، تجزیه پذیری ماده آلی (OM)، تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF).

جدول ۳. ارتفاع پیک مربوط به ساختارهای مولکولی کربوهیدرات‌ها در روش طیف سنجی FTIR در علوفه‌های مورد آزمایش.

پارامترها / علوفه	علف خشک یونجه	سیلاژ ذرت	کاه گندم	SEM	سطح احتمال
کربوهیدرات کل	۱/۴۱	۱/۵۳	۱/۵۱	۰/۲۸	۰/۹۳
کربوهیدرات‌های ساختاری	۱/۰۶	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۱۹	۰/۸۰
لیگنین	۰/۸۵	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۱۲	۰/۱۱
نسبت لیگنین به کربوهیدرات‌های کل	۰/۶۸	۰/۴۲	۰/۳۴	۰/۰۹۵	۰/۰۵
نسبت کربوهیدرات‌های ساختاری به کل کربوهیدرات‌ها.	۰/۸۴	۰/۶۳	۰/۶۰	۰/۱۲	۰/۳۷



شکل ۱. گراف‌های کامل FTIR از نمونه علوفه‌های مورد آزمایش؛ Alfalfa، یونجه خشک شده؛ Corn Silage، سیلاژ ذرت؛ Wheat straw، کاه گندم.

همبستگی بین کینتیک‌های تجزی پذیرش شکمبه ای با ساختارهای ملکولی FTIR علوفه‌های مورد آزمایش

همبستگی بین کینتیک‌های تجزی پذیرش با ساختارهای ملکولی در جدول ۵ نشان داده شده است. ضریب همبستگی بین بخش کند تجزیه ماده خشک و ماده آلی و ارتفاع پیک ناحیه کل کربوهیدرات‌ها و کربوهیدرات‌های ساختاری مقدار بالا و منفی بود ($P < 0.05$). سایر ضرایب همبستگی بین کینتیک‌های تجزی پذیرش شکمبه ای به روش کیسه گذاری و ساختارهای مولکولی بررسی شده با FTIR معنی دار نبود. ساختارهای کربوهیدرات‌ها ممکن است بر قابلیت دسترسی آنزیم‌های دستگاه گوارش به آن‌ها موثر باشد و در نتیجه بر عملکرد، کیفیت و قابلیت دسترسی یا رفتار گوارشی کربوهیدرات‌ها موثر باشد. همچنین این ساختارها ممکن است بر رفتارهای تجزی پذیرش آنها در شکمبه موثر باشد (۱۹، ۲۰ و ۲۱). اشکال ساختاری مرتبط با پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها با طیف سنجی مادون قرمز قابل تشخیص است ولی با مواد شیمیایی (روش‌های سنتی آنالیز مواد خوراکی) قابل تشخیص نیست (۲۰ و ۲۱). ساختار مولکولی بررسی شده با طیف سنجی FTIR کربوهیدرات‌ها می‌توانند بر جایگاه هضم کربوهیدرات‌های در دستگاه گوارش نشخوارکنندگان موثر باشند و به عنوان روشی سریع و غیر مخرب استفاده شود (۱۰، ۱۱، ۱۹، ۲۰ و ۲۱). به عنوان مثال ذکر شده است که در علوفه یونجه برداشت شده در مراحل مختلف بلوغ، هر چه که تجمع لیگنین و سلولز و همی سلولز بیشتر باشد (مقدار NDF و ADL در آنالیز شیمیایی)، بررسی FTIR لیگنین و کربوهیدرات‌های غیر ساختاری نشان داد که بین

تجزیه پذیرش شکمبه ای و ساختارهای FTIR همبستگی وجود دارد (۱۰ و ۱۱). در این آزمایش هدف بررسی ارتباط ساختارهای FTIR مرتبط با ترکیبات سلولزی با تجزی پذیرش شکمبه بین علوفه‌های مختلف بود. در آنالیز همبستگی مشخص شد که هرچه ارتفاع پیک کربوهیدرات‌های ساختاری و همچنین کربوهیدرات‌های کل بررسی شده با FTIR بالاتر باشد پتانسیل تجزی پذیرش شکمبه ای ماده خشک و ماده آلی در علوفه‌های سیلاژ ذرت، یونجه و کاه گندم پایین می‌آید. بالاتر بودن ارتفاع پیک، نشان می‌دهد که تجمع ترکیبات سلولزی بیشتر شده است و وقتی که در گیاهان علوفه‌های این ترکیبات بیشتر شود، باعث کندتر شدن هضم آن‌ها می‌شود که بیان می‌کند این ترکیبات قابلیت هضم کمی دارند. که می‌تواند به خاطر ساختار مولکولی تشکیل دهنده ترکیبات سلولزی باشد یا ارتباط ساختاری این مواد با لیگنین باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که منابع فیبر علوفه‌ای مورد استفاده در این آزمایش از نظر ترکیب شیمیایی تفاوت‌هایی داشتند، اما از نظر تجزی‌پذیری شکمبه‌ای مواد مغذی در گوسفند اختلاف معنی داری با یکدیگر نداشتند. بررسی ساختارهای مولکولی کربوهیدرات‌ها، کربوهیدرات‌های ساختاری و لیگنین با روش FTIR نشان داد که این ویژگی‌ها بین منابع فیبر علوفه‌ای متفاوت هستند. همچنین، تحلیل همبستگی مشخص کرد که هرچه ارتفاع قله جذب کربوهیدرات‌های ساختاری و کربوهیدرات‌های کل در FTIR بیشتر باشد، پتانسیل تجزی‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و ماده آلی در علوفه‌های سیلاژ ذرت،

جدول ۵. ضرایب همبستگی بین کنیتیک های تجزی پذیری با ساختار های ملکولی ناحیه کربوهیدرات ها در علوفه یونجه ، سیلاژ ذرت و کاه گندم

SCHO_TCHO		نسبت لیگنین به کربوهیدرات کل		کربوهیدرات کل		کربوهیدرات ساختاری		لیگنین		فراسنجه
P	R	P	R	P	R	P	R	P	R	
۰/۵۶۴	-۰/۲۹۳	۰/۳۴۸	-۰/۴۶۹	۰/۹۱۷	۰/۰۵۶	۰/۹۸۰	۰/۰۱۱	۰/۵۴۱	۰/۳۱۶	بخش سریع تجزیه ماده خشک
۰/۶۸۶	-۰/۲۷۳	۰/۸۹۶	-۰/۰۶۸	۰/۰۱۶	-۰/۸۹۴	۰/۰۶۶	-۰/۷۸۲	۰/۳۲۴	۰/۴۸۹	بخش کند تجزیه ماده خشک
۰/۴۸۵	۰/۳۵۹	۰/۳۳۸	-۰/۴۷۸	۰/۵۳۲	۰/۳۲۳	۰/۶۲۳	۰/۲۵۶	۰/۳۹۹	۰/۴۲۶	نرخ تجزیه ماده خشک
۰/۴۳۴	-۰/۳۴۰	۰/۱۲۷	-۰/۶۹۳	۰/۵۵۶	۰/۳۰۵	۰/۹۲۳	۰/۰۴۷	۰/۳۷۱	-۰/۴۵۰	بخش سریع تجزیه الیاف نامحلول درشوینده خنثی
۰/۵۷۸	-۰/۲۸۹	۰/۹۳۷	-۰/۰۴۲	۰/۲۳۶	-۰/۵۷۲	۰/۱۵۷	-۰/۶۵۶	۰/۴۵۳	-۰/۳۸۴	بخش کندتجزیه الیاف نامحلول درشوینده خنثی
۰/۹۰۰	۰/۰۶۹	۰/۷۱۹	۰/۱۸۹	۰/۲۶۳	۰/۵۴۵	۰/۴۹۱	۰/۳۵۶	۰/۴۴۰	۰/۳۹۴	نرخ تجزیه الیاف نامحلول درشوینده خنثی
۰/۲۴۴	-۰/۵۶۴	۰/۰۹۰	-۰/۷۴۷	۰/۵۲۳	۰/۳۲۹	۰/۸۸۵	۰/۰۷۶	۰/۴۶۹	-۰/۳۷۱	بخش سریع تجزیه ماده آلی
۰/۵۱۶	-۰/۳۳۶	۰/۷۴۹	-۰/۱۶۹	۰/۰۱۵	-۰/۸۹۹	۰/۰۱۷	-۰/۸۹۳	۰/۱۸۹	-۰/۶۲۰	بخش کندتجزیه ماده آلی
۰/۴۰۲	۰/۴۲۴	۰/۲۳۶	۰/۵۷۱	۰/۷۴۷	۰/۱۷۰	۰/۶۹۳	۰/۲۰۹	۰/۳۵۱	۰/۴۶۶	نرخ تجزیه ماده آلی
۰/۸۳۰	۰/۱۱۴	۰/۶۸۳	-۰/۲۱۵	۰/۵۹۱	۰/۲۸۰	۰/۴۰۶	۰/۴۲۱	۰/۸۹۴	۰/۰۷۱	الیاف نامحلول درشوینده خنثی قابل هضم

R، مقدار همبستگی و P، سطح معنی داری

Official Analytical Chemists,
Arlington, VA, U.S.A.

یونجه و کاه گندم کاهش می‌یابد.

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

سپاسگذاری و قدردانی: از کارکنان مزرعه دانشگاه ملایر و مجتمع دامداری پگاه همدان و بنیاد ملایر (دشت گل کردستان واحد ملایر) برای کمک در اجرای آزمایش قدردانی می‌گردد.

8. National Research Council. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/11654>.
9. Yu, P., J. J. McKinnon, C. R., Christensen, and D. A., Christensen. 2004. Using synchrotron transmission FTIR microspectroscopy as a rapid, direct and non-destructive analytical technique to reveal molecular microstructural-chemical features within tissue in grain barley. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 52: 1484–1494.
10. Yari M., R. Valizadeh, A. A. Naserian, A. Jonker, P. Yu. 2013. Protein molecular structures in alfalfa hay cut at three stages of maturity and in the afternoon and morning and relationship with nutrient availability in ruminants. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 93:3072-80.
11. Yari M., R. Valizadeh, A. A. Naserian, A. Jonker, P. Yu. 2017. Carbohydrate and lipid spectroscopic molecular structures of different alfalfa hay and their relationship with nutrient availability in ruminants. *Asian-Australas Journal of Animal Science* 30, 1575–1589 ..
12. Wetzel D.L., and S.M., LeVine. 2001. Biological applications of infrared microspectroscopy, In: Gremlich, H.U., Yan, B. (Eds.), *Infrared and Raman Spectroscopy of Biological*

منابع

1. Galyean, M. L., and A. L. Goetsch. 1993. Utilization of forage fiber by ruminants. Pages 33–37 in *Forage Cell Wall Structure and Digestibility*. H. G. Jung, D. R. Buxton, R. D. Hatfield, and J. Ralph, ed. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI.
2. Leonardi, C., F. Giannico, and L. E. Armentano. 2005. Effect of water addition on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 88: 1043–1049.
3. Yari, M., R. Valizadeh., A. A. Naserian., G. R. Ghorbani., P. Rezvani Moghaddam., A. Jonker., P. Yu. 2012. Botanical traits, protein and carbohydrate fractions, ruminal degradability and energy contents of alfalfa hay harvested at three stages of maturity and in the afternoon and morning. *Animal Feed Science Technology*. 172:162–170.
4. Ministry of Agriculture Jihad. Statistical data. Agriculture year 2022-2023, first volume .
5. Yu P. Synchrotron based microspectroscopic analysis of molecular and biopolymer structures using multivariate techniques and advanced multi components modeling. 2008 .*Canadian Journal of Analytical Sciences and Spectroscopy*. 53:22031.
6. AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th edn. Association of

- spectral analyses. International Journal of Molecular Science, 12: 1921-1935.
21. Doiron K., P., Yu, J.J., McKinnon, and D.A., Christensen. 2009. Heat-induced protein structure and subfractions in relation to protein degradation kinetics and intestinal availability in dairy cattle. Journal of Dairy Science, 92: 3319–3330.
 - Materials, Marcel Dekker In, New York, NY, USA, pp. 101-142.
 13. 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 Moloculare Biology, 44: 145-167
 14. Ørskov, E.R., and I. Mcdonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92: 499–503.
 15. Statistical Analysis System, User Guide: Statistics, Version 9.4. SAS Institute, Cary, NC.(۲۰۲۴)
 16. Jung H. G. and M. S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. Journal of Animal Science. 73:2774-2790.
 17. Dewhurst, R. J., R. T. Evans, N. D. Scollan, J. M. Moorby, R. J. Merry, and R. J. Wilkins. 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. 2. In vivo and in sacco evaluations of rumen function. Journal of Dairy Science. 86:2612–2621.
 18. Van Soest, P.J. 1994. Nutritional Ecology of the Ruminant (2nd Ed.). Cornell University Press, Ithaca, NY
 19. Yu P., and G.N.O. Waldo. 2010. Relationship of protein molecular structure to metabolisable proteins in different types of dried distillers grains with solubles: a novel approach. British Journal of Nutrition, 104: 1429–1437.
 20. Yu P., D., Damiran, A., Azarfar, and Z., Niu. 2011. Detecting molecular features of spectra mainly associated with structural and non-structural carbohydrates in co-products from bioethanol production using DRIFT with uni- and multivariate molecular

Relationship between FTIR molecular structures of forage fiber sources with ruminal degradability characteristics in sheep

Razeyh Moradi¹, Mojtaba Yari^{2*}, Saeed Khalaji³

^{1,2,3} Department of Animal Science, College of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

*Corresponding author: Mojtaba Yari; e-mail address: mojyari@gmail.com

ABSTRACT

This experiment was conducted to investigate the relationship between in situ ruminal degradability of forage fiber sources with FTIR molecular structures in sheep nutrition. Corn silage, alfalfa hay and wheat straw were used as forage fiber sources. Chemical composition, in situ ruminal degradability and FTIR molecular structures considered for forages. The results showed that the crude protein of alfalfa was higher than other forages and corn silage had the highest ash and crude fat ($P<0.05$). Wheat straw had the highest, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber and acid detergent lignin ($P<0.05$). In situ ruminal degradation kinetics of dry matter, organic matter and NDF including washable fraction (A parameter), slowly degradable fraction (B parameter) and rate of degradation (c parameter) were similar among treatments exception for A fraction and 288 h NDF degradability that were higher for wheat straw compared with others. The peak height of FTIR was measured in area related to carbohydrates and structural carbohydrates. The FTIR ratio of structural carbohydrates to total carbohydrates in alfalfa was higher than other treatments ($P<0.05$). There was a negative relationship between FTIR structural carbohydrate height and in situ slowly degradable fraction of dry matter and organic matter (-0.86 and $P<0.05$). In conclusion, current results indicate that current fiber sources differed in chemical composition and FTIR structural carbohydrate had negative relationship with in situ dry matter and organic matter degradation.

ARTICLE INFO

Keywords: Forage fiber sources, FTIR, nutrients, ruminal degradability, sheep

Received: 2025/9/28

Accepted: 2026/5/3

Available: 2026/5/16

* Corresponding author:

mojyari@gmail.com

