نشریه علوم دامی
(پژوهش و سازندگی)

شماره ۱۰۷، تابستان ۱۳۹٤
ص‌ص: ٤۹~٦۰

مقایسه ترکیب شیمیایی و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای چهار نوع کاه فرآوری‌شده با قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*)

- **عطیه مهرابی**
دانش آموخته کارشناسی ارشد تغذیه دام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- **تقی قورچی** (نویسنده مسئول)
استاد گروه تغذیه دام و طیور دانشکده علوم دامی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- **سید اسماعیل رضوی**
استادیار گروه گیاهپزشکی دانشکده تولیدگیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

تاریخ دریافت : مهر ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش : آبان ۱۳۹۳

شماره تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۷۱۵۸۱۰
Email: ghoorchit@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه، اثر کشت قارچ پوسیدگی سفید رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*) بر ترکیب شیمیایی و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک کاه‌های زیره، گندم، جو و کلزا بررسی و مقایسه شد. انواع کاه با میسلیوم قارچ رنگین‌کمان تلقیح و به مدت ۲۱ روز در کیسه‌های پلاستیکی در دمای ۳۰°C- ۲۵ و رطوبت نسبی ۸۰-۷۰ درصد نگهداری شدند. پس از آن کاه‌ها خشک و آسیاب شده و ترکیب شیمیایی آن ها تعیین گردید. تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نیز به روش کیسه‌های نایلونی با سه رأس گوسفند اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که کاهش مقدار ماده آلی فقط در کاه زیره فرآوری‌شده نسبت به شاهد معنی‌دار بود (P<۰/۰۵). میزان پروتئین خام در کاه گندم، جو و کلزا فرآوری شده افزایش و در کاه زیره کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). پس از فرآوری با قارچ، نسبت NDF در کاه زیره افزایش و در سایر کاه ها کاهش یافت. مقدار لیگنین (ADL) در کاه گندم فرآوری‌شده کمتر از شاهد بود (P<۰/۰۵). در بین کاه‌های فرآوری‌شده، کاه زیره بیشترین میزان توده قارچ (کیتین) در ماده خشک را داشت (P<۰/۰۵). فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک نیز در بین انواع کاه متفاوت بود و در کاه گندم و جو پس از فرآوری، نتایج بهتری مشاهده شد. با افزایش زمان پس از شکمبه گذاری، تجزیه‌پذیری کاه زیره فرآوری‌شده نسبت به شاهد کاهش یافت. در کاه کلزای فرآوری‌شده نیز تجزیه‌پذیری ماده خشک تنها در زمان‌های صفر و شش ساعت افزایش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵). بر اساس یافته‌های به‌دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که اثرات رشد قارچ رنگین‌کمان بر ترکیب شیمیایی، دیواره سلولی و تجزیه‌پذیری انواع کاه متفاوت بود و در کاه زیره، تأثیر نداشت.

واژه‌های کلیدی: فرآوری زیستی، قارچ پوسیدگی سفید، کاه، کیتین، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای.

Animal Science Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No 107 pp: 49-60

Comparison of chemical composition and rumen degradability among four types of straws treated by *Trametes versicolor* fungus

Atiyeh Mehrabi1, Taghi Ghoorchi2*, Seyed Esmaeil Razavi3
1:M.Sc. Graduated of Animal Nutrition, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
2*:Professor, Dept. of Animal and Poultry Nutrition, Faculty of Animal Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.Email: ghoorchit@yahoo.com,Tel:+989113715810
3:Assistant Professor, Dept. of Plant Protection, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.

Received: September 2013 **Accepted: November 2014**

In this study, the effect of white rot fungus *Trametes versicolor* on chemical composition and rumen degradability of cumin, wheat, barley and rapeseed straws were investigated and compared. Straws were inoculated with fungus mycelium and were kept in plastic bags at 25-30 °C and 70-80% relative humidity for 21 days. Then straws were dried, milled and their chemical compositions were measured. Rumen degradability was estimated using the nylon bag technique by 3 rams. The results showed that the loss of organic matter only in treated cumin straw was significant (P<0.05). Crude protein content in treated wheat, barley and rapeseed straw was increased whereas in treated cumin straw was significantly lower than control (P<0.05). After treatment with fungus, NDF in cumin straw increased while in the other treatments reduced. The amount of lignin (ADL) in treated wheat straw was lower than control (P<0.05). Among the treated straws, the cumin straw was contained the highest amount of fungal biomass (chitin)/dry matter (P<0.05). Degradability parameters of dry matter among varieties of straw were different and the highest values were observed in treated wheat and barley straw. Degradability of treated cumin straw decreased with increasing incubation time, compared with control (P<0.05). As well as degradability of dry matter at the treated rapeseed straw, showed a significant increase only at 0 and 6 hours (P<0.05). According to findings, it was concluded that effects of growth *Trametes versicolor* on chemical composition, cell wall components and rumen degradability among varieties of straw was different and in cumin straw, was not effective.

Key words: Biological treatment, White rot fungi, Straw, Chitin, Rumen degradability.

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع خوراک دام در کشور، شناخت سازه-هایی که باعث استفاده بهینه از مواد فیبری در تغذیه دام و به دست آوردن حداکثر بازده بیولوژیکی در تولیدات دامی گردد امری اجتناب‌ناپذیر است. کاه‌ها منبع بالقوه‌ای از پلی‌ساکاریدهای انرژی‌زا برای تغذیه نشخوارکنندگان بوده اما وجود جزء مستحکمی به نام لیگنین- به عنوان یک مانع فیزیکی- از دسترسی آنزیم‌های هیدرولیتیک به پلی‌ساکاریدها جلوگیری می‌کند. بدین منظور، برای لیگنین‌زدایی از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی استفاده می‌شود. قاعده این روش‌ها بر اساس شکافتن کمپلکس سلولز- لیگنین است که با استخراج یا تجزیه لیگنین امکان‌پذیر است (Zadrazil, 1993). روش‌های بیولوژیکی (زیستی) لیگنین‌زدایی شامل استفاده از آنزیم‌ها یا میکروارگانیسم-های تجزیه‌کننده لیگنین است (Sarnklong et al., 2010). قارچ‌های پوسیدگی سفید از مؤثرترین موجودات تجزیه کننده لیگنین در طبیعت هستند. این قارچ‌ها در مرحله رویشی (میسلیوم) آنزیم‌های تجزیه کننده لیگنین برون سلولی ترشح می‌کنند (Schmidt, 2007). دو سازوکار برای این آنزیم‌ها ارائه شده-است: یکی محلول شدن (آزاد شدن لیگنین همراه با مقداری از همی‌سلولز متصل به آن) و دیگری معدنی شدن که در آن لیگنین کاملاً تجزیه شده و به دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود (Wong, 2009). کاربرد کاه باقی‌مانده از کشت قارچ صدفی به عنوان خوراک دام، اولین بار توسط شانِل[۳] و همکاران در سال ۱۹۶۶

توصیف شد (Zadrazil, 1997). در ده سال اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در شناخت تجزیه مواد لیگنوسلولز توسط قارچ‌های بازیدیومیست پوسیدگی سفید و قابلیت بالایی که این موجودات و آنزیم‌هایشان دارند، صورت گرفته (Jurado et al., 2011) و استفاده از این قارچ‌ها به‌عنوان روشی مطمئن و مبتنی بر اصول محیط زیست برای حذف لیگنین شناخته شده است (Okano et al., 2006). قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*)، متعلق به شاخه بازیدیومیکوتاها است.

این قارچ در درختان ایستاده و سخت‌چوب‌های انبارشده، پوسیدگی سفید مرمری شکل به وجود می‌آورد و اجزای دیواره سلولی از جمله لیگنین را تجزیه می‌کند (Schmidt, 2007). در آزمایش Rodrigues و همکاران (۲۰۰۸)، عصاره‌های آنزیمی قارچ‌های پوسیدگی سفید رنگین‌کمان و *Bjerkandera adusta* به کاه گندم اضافه شدند که در نتیجه، قارچ رنگین‌کمان فعالیت آنزیمی لیگنینولیتیک بیشتری نشان داد. Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) نیز یازده قارچ پوسیدگی سفید، از جمله قارچ رنگین‌کمان را برای قدرت تجزیه لیگنین و بهبود تخمیر شکمبه‌ای کاه گندم مورد آزمایش قرار دادند. نتایج نشان دادند که همه قارچ‌ها مقدار ماده خشک، ماده آلی و اجزای دیواره سلولی (همی‌سلولز، سلولز و لیگنین) را کاهش دادند اما باعث افزایش پروتئین کاه شدند. طبق یافته‌های Shrivastava و همکاران (۲۰۱۱) نیز قارچ رنگین‌کمان عملکرد مناسبی در کاهش اجزای فیبری کاه گندم و تبدیل آن به خوراکی با قابلیت هضم بیشتر نشان داد.اجزای اصلی میسلیوم در بازیدیومیست‌ها آب، پروتئین و جزء نامحلول در سود (NaOH) است که عمدتاً شامل کیتین، پلی-ساکاریدهای اسیدی به علاوه مقدار اندکی کیتوسان می‌باشد. کیتین، پلیمری متشکل از واحدهای استیل د-گلوکز آمین است (Mario et al., 2008) و در نشخوارکنندگان، توسط پروتوزوآهای مژکدار در شکمبه به مونومرهای استیل د-گلوکز آمین تجزیه می‌شود که می‌توان آن را مانند سایر ترکیبات شیمیایی موجود در خوراک نشخوارکنندگان به عنوان یک منبع بالقوه انرژی مورد بررسی قرار داد (Belzecki et al., 2008).

در اغلب پژوهش‌های انجام شده در ایران، از گونه‌های مختلف قارچ‌های صدفی (*Pleurotus* sp.) برای فرآوری انواع کاه استفاده شده است (فضائلی و همکاران، ۲۰۰۴؛ فضائلی، ۱۳۸۷؛ کفیل‌زاده و همکاران، ۲۰۰۹؛ ناصحی و همکاران، ۱۳۹۱). اما از آنجا که تاکنون گزارش منتشر شده و قابل دسترسی مبنی بر فرآوری با قارچ رنگین‌کمان ارائه نشده است، در تحقیق حاضر اثر قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*) بر ترکیب شیمیایی و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک کاه‌های زیره، گندم، جو و کلزا، به‌منظور تهیه خوراک برای نشخوارکنندگان، بررسی شد.

مواد و روش‌ها

برای کشت قارچ روی کاه از روش تخمیر حالت جامد در مقیاس بزرگ استفاده شد.

تهیه میسلیوم و تلقیح قارچ

کارپوفور[۴] (کلاهک و پایه) قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*)، از جنگل شصت‌کلاته شهرستان گرگان جمع-آوری و برای تهیه میسلیوم، یک تکه از آن جدا و در پتری‌دیش دارای محیط کشت مالت آگار به مدت هفت روز در انکوباتور با دمای ۲۵°C نگهداری شد. در مرحله بعد برای تلقیح قارچ، دانه-های گندم در آب شسته شده و ۱۵ دقیقه جوشانده و در الک آبگیری شدند. سپس دانه‌ها به سه ارلن مایر ۵۰۰ میلی‌لیتری منتقل و در اتوکلاو با تنظیم دمایی ۱۲۱°C و فشار یک اتمسفر، به مدت یک ساعت گندزدایی شدند (Tuyen et al., 2012). پس از آن، محتوای هر شیشه با یک قطعه یک سانتی‌مترمربعی از آگار میسلیوم‌دار تلقیح شد. ارلن مایرها به‌مدت هفت روز در انکوباتور با دمای ۲۵°C قرار داده‌شدند تا دانه‌ها کاملاً با میسلیوم قارچ پوشانده‌شدند.

آماده سازی بستر و کشت قارچ

کاه گندم، جو و کلزا[۵] از مزارع استان گلستان و کاه زیره سبز[۶] (شامل ساقه‌ها، مقداری برگ و دانه به همراه نیام آنها) نیز از شهرستان مشهد تهیه شدند. اندازه ذرات کاه گندم، جو و زیره

خریداری شده ۵-۳ سانتی‌متر بود. کاه کلزا شامل ساقه‌ها، نیام و مقداری برگ بود که ساقه‌ها به اندازه ۱۰-۵ سانتی‌متر خرد شدند. مقدار یک کیلوگرم از هر کدام از انواع کاه در کیسه‌های پلاستیکی ریخته شد (سه تکرار).

به محتوای هر کیسه مقداری آب افزوده شد، به میزانی که رطوبت کاه به ۸۵ درصد برسد. سپس کیسه‌ها در اتوکلاو با تنظیم دمایی ۱۲۱°C و فشار یک اتمسفر، به مدت یک ساعت گندزدایی شدند (Tuyen et al., 2012). دانه‌های گندم دارای میسلیوم قارچ به میزان ۳۰ گرم (۳ درصد) به کیسه‌ها اضافه شدند. کیسه‌ها در اتاق ضدعفونی شده با دمای ۳۰-۲۵°C و رطوبت نسبی ۸۰-۷۰ درصد به مدت ۲۱ روز نگهداری شدند.

پس از گذشت ۲۱ روز و رشد میسلیوم قارچ، محتویات کیسه‌ها تخلیه و در هوای باز خشک گردید و برای انجام آزمایش‌ها آسیاب شدند.

اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی نمونه‌ها شامل خاکستر خام و پروتئین خام به روش استاندارد (AOAC, 2005) تعیین گردید. الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF) و لیگنین نامحلول در اسید (ADL) به صورت متوالی، با استفاده از روش فیلتر بگ (Komarek, 1994) و محلول‌های شوینده Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) اندازه‌گیری شدند. از اختلاف NDF و ADF مقدار همی‌سلولز و از اختلاف ADF و ADL مقدار سلولز محاسبه شد.

اندازه‌گیری کیتین

در مراحل اندازه‌گیری دیواره سلولی نمونه‌های فرآوری‌شده، محتویات درون سلول گیاهی و قارچ در شوینده‌ها حل شده و در آخرین مرحله، لیگنین و کیتین باقی می‌ماند. کیتین در حلال‌هایی که در اندازه‌گیری دیواره سلولی به روش Van Soest و همکاران (۱۹۹۱) به کار می‌رود، حل نمی‌شود.

در صورت تیمار کیتین با NaOH و تبدیل آن به کیتوسان، اسیدهای آلی قادرند کیتوسان را حل کنند (Mario et al., 2008; Pillai et al., 2009). برای انحلال کیتین، از روش Mario و همکاران (۲۰۰۸) استفاده شد و مقدار به‌دست آمده از میزان دیواره سلولی نمونه‌ها کاسته شد.

تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری

تجزیه‌پذیری ماده خشک نمونه‌های کاه فرآوری‌شده و فرآوری نشده با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی (Ørskov و همکاران، ۱۹۸۰) در سه رأس گوسفند نر نژاد دالاق فیستولاگذاری شده با جیره نگهداری ۵۰ درصد کاه گندم و ۵۰ درصد دانه کامل جو در زمان‌های گرمخانه گذاری صفر، ۶، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت اندازه‌گیری شد. فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری نیز بر اساس معادله‌های Ørskov و McDonald (۱۹۷۹) برآورد شد:

۱) پتانسیل تجزیه‌پذیری (P_t):

$$P_t= a+b\ (1- e^{-ct})$$

در این رابطه P_t میزان تجزیه‌پذیری پس از t ساعت انکوباسیون، a بخش تند تجزیه و محلول در آب، b بخش کندتجزیه در شکمبه و c سرعت تجزیه‌پذیری است.

۲) تجزیه‌پذیری مؤثر (ED):

$$ED= a+bc/(c+k)$$

k نرخ عبور است که در مقادیر ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این آزمایش، برای مقایسه تیمارها با یکدیگر، از طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برای هر تیمار استفاده شد. داده‌ها با استفاده از رویه GLM و نرم‌افزار SAS نسخه ۹.۰ (۲۰۰۲) تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی

جدول ۱، درصد ترکیبات شیمیایی و مقدار دیواره سلولی (NDF)، دیواره سلولی منهای همی‌سلولز (ADF)، لیگنین (ADL)، همی‌سلولز و سلولز انواع کاه شاهد و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان و همچنین میزان کیتین در کاه‌های فرآوری‌شده را نشان می‌دهد. کاهش ماده آلی فقط در کاه زیره پس از فرآوری

معنی‌دار بود. بنابراین، افزایش میزان خاکستر خام نیز فقط در کاه زیره فرآوری‌شده نسبت به شاهد معنی‌دار بود (P<۰/۰۵).

در مدت دوره تخمیر، سوبسترا تجزیه شده و بخش قابل توجهی از ماده آلی به CO_2 تبدیل می‌شود (فضائلی و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین ماده آلی کاه پس از فرآوری کاهش می‌یابد و مقدار بیشتری مواد معدنی در واحد وزن باقی می‌ماند که در نهایت منجر به افزایش درصد خاکستر می‌شود (هادی‌زاده تثبیتی و همکاران، ۱۳۷۶).

همچنین، افزایش خاکستر شاید به دلیل افزایش توده زیستی قارچ باشد که شامل مواد معدنی نیز می‌باشد (Jalc et al., 1998). نتایج به‌دست آمده مطابق با یافته‌های هادی‌زاده تثبیتی و همکاران (۱۳۷۶)، ناصحی و همکاران (۱۳۹۱) و Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) بود.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی انواع کاه قبل (شاهد) و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان (درصد)

تیمارهای آزمایشی*	ماده آلی	خاکستر خام	پروتئین خام	NDF	ADF	ADL	همی‌سلولز	سلولز	کیتین
کاه زیره شاهد	۷۶/۶۱ ^{c}	۲۳/۳۸ ^{b}	۱۶/۸۶ ^{a}	۳۵/۰۶ ^{g}	۲۰/۸۶ ^{d}	۵/۳۳ ^{e}	۱۴/۲۰ ^{h}	۱۵/۵۳ ^{e}	–
کاه زیره فرآوری‌شده	۷۲/۷۲ ^{d}	۲۷/۲۸ ^{a}	۱۲/۶۱ ^{b}	۳۸/۴۶ ^{f}	۲۲/۲۶ ^{d}	۶/۰۶ ^{de}	۱۶/۲۰ ^{g}	۱۶/۲۰ ^{e}	۴/۰۰ ^{a}
کاه گندم شاهد	۹۲/۳۱ ^{ab}	۷/۶۸ ^{cd}	۵/۲۵ ^{e}	۸۰/۲۶ ^{a}	۴۵/۸۶ ^{b}	۸/۲۰ ^{c}	۳۴/۴۰ ^{a}	۳۷/۶۶ ^{cd}	–
کاه گندم فرآوری‌شده	۹۱/۴۹ ^{ab}	۸/۵۰ ^{cd}	۶/۵۶ ^{cd}	۷۳/۰۶ ^{c}	۴۳/۰۶ ^{c}	۶/۹۳ ^{d}	۳۰/۰۰ ^{c}	۳۶/۱۳ ^{cd}	۲/۵۳ ^{b}
کاه جو شاهد	۹۱/۹۳ ^{ab}	۸/۰۶ ^{cd}	۵/۲۵ ^{e}	۸۱/۳۳ ^{a}	۴۹/۸۰ ^{a}	۸/۶۶ ^{c}	۳۱/۵۳ ^{b}	۴۱/۱۳ ^{a}	–
کاه جو فرآوری‌شده	۹۰/۴۹ ^{b}	۹/۵۰ ^{c}	۷/۰۰ ^{cd}	۷۵/۴۶ ^{b}	۴۸/۲۶ ^{ab}	۸/۴۰ ^{c}	۲۷/۲۰ ^{d}	۳۹/۸۶ ^{ab}	۲/۴۶ ^{b}
کاه کلزا شاهد	۹۳/۲۳ ^{a}	۶/۷۶ ^{d}	۵/۸۱ ^{e}	۷۰/۱۳ ^{d}	۴۸/۱۳ ^{ab}	۱۰/۱۳ ^{b}	۲۲/۰۰ ^{e}	۳۸/۰۰ ^{c}	–
کاه کلزا فرآوری‌شده	۹۱/۰۹ ^{ab}	۸/۹۰ ^{cd}	۷/۵۳ ^{c}	۶۵/۴۶ ^{e}	۴۷/۲۰ ^{ab}	۱۱/۶۰ ^{a}	۱۸/۲۶ ^{f}	۳۵/۶۰ ^{d}	۳/۱۳ ^{ab}
SEM	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۲۱

*حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین تیمارها می‌باشد.

بر اساس جدول ۱، مقدار پروتئین خام در تیمارهای کاه گندم، جو و کلزا فرآوری شده با قارچ افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (P<۰/۰۵). قارچ‌ها برای دستیابی به ترکیبات دیواره سلولی به منظور تأمین انرژی، به سازوکارهای آنزیمی پیچیده‌ای نیاز دارند در حالی‌که ترکیبات نیتروژن آسان تر قابل تجزیه هستند. قارچ‌ها قادرند نیتروژن را از سوبسترا جذب نموده و با انرژی حاصل از تجزیه ترکیبات لیگنوسلولز، پروتئین مورد نیاز خود را بسازند (Schmidt, 2007). بنابر این در توده سلولی قارچ، پروتئین خام وجود دارد و با افزودن میسلیوم به کاه، پروتئین خام آن افزایش خواهد یافت (Beg et al., 1986; Jalc et al., 1998).

نتایج به‌دست آمده با نتایج پژوهش‌های انجام شده روی سایر قارچ‌های پوسیدگی سفید (هادی‌زاده تثبیتی و همکاران، ۱۳۷۶؛ فضائلی، ۱۳۸۷؛ ناصحی و همکاران، ۱۳۹۱) و قارچ رنگین‌کمان (Shrivastava et al., 2012; Tuyen et al., 2011) مطابقت داشت.

برخلاف سایر موارد، پروتئین خام در کاه زیره پس از فرآوری به میزان معنی‌داری کاهش یافت (P<۰/۰۵).

همه قارچ‌ها به میزان زیادی NDF و ADF را تجزیه می‌کنند. این به دلیل زیستگاه طبیعی قارچ‌های پوسیدگی سفید است که برای تأمین انرژی به کربن آلی (منابع لیگنوسلولز) وابسته هستند (فضائلی و همکاران، ۲۰۰۴). بنابراین کاهش NDF پس از فرآوری قابل پیش‌بینی بود. در بین تیمارهای شاهد، کاه جو و گندم بیشترین میزان NDF (به ترتیب ۸۱/۳۳ و ۸۰/۲۶ درصد) و

کاه زیره با ۳۵/۰۶ درصد کمترین NDF را داشتند (جدول ۱). پس از فرآوری با قارچ، در همه تیمارها به‌جز کاه زیره کاهش معنی‌داری در مقدار NDF مشاهده شد (P<۰/۰۵). بر خلاف سایر تیمارها، در کاه زیره، NDF به میزان معنی‌داری افزایش یافت (P<۰/۰۵).

نتایج به‌دست آمده برای تیمارهای کاه گندم، جو و کلزا با یافته‌های فضائلی (۱۳۸۷) و Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت دارد و مشاهدات در مورد تیمار کاه زیره با این نتایج مخالف است. طبق جدول ۱، در کاه زیره بیشترین مقدار کاهش ماده آلی و همچنین کاهش معنی‌دار پروتئین خام پس از فرآوری مشاهده شد. اما مقدار NDF پس از فرآوری افزایش معنی‌داری نشان داد. دلیل این مسئله می‌تواند این باشد که ابتدا اجزایی از کاه که به سرعت حل می‌شوند برای استفاده در تولید توده زیستی، مورد متابولیسم قرار می‌گیرند (Zadrazil, 1997).

بنابراین اجزایی که کمتر مورد استفاده قارچ قرارگرفته (بیشتر شامل دیواره سلولی) به مقدار بیشتری در واحد وزن مواد باقی می‌ماند. در نتیجه کاه زیره پس از فرآوری درصد پروتئین خام کمتر و NDF بیشتری نسبت به شاهد داشت. در آزمایش کفیل‌زاده و همکاران (۲۰۰۹)، قارچ صدفی روی کاه وکلش گندم کشت شد و مقدار NDF کاه پس از فرآوری افزایش یافت. اعداد به‌دست آمده برای ADF، کاهش معنی‌داری را در کاه گندم فرآوری‌شده نشان داد (جدول ۱) که با یافته‌های فضائلی (۱۳۸۷)، Rodrigues و همکاران (۲۰۰۸) و Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) در رابطه با فرآوری کاه گندم مطابقت داشت.

مقدار لیگنین معمولاً بعد از فرآوری، بر اثر ترشح آنزیم‌های برون سلولی تجزیه‌کننده لیگنین توسط قارچ کاهش می‌یابد. بر اساس جدول ۱، مقدار لیگنین (ADL) در کاه گندم پس از فرآوری با قارچ کاهش معنی‌داری یافت اما در کاه کلزا فرآوری‌شده افزایش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵). قارچ‌های پوسیدگی سفید در محیط کشت ابتدا قند و نشاسته را مصرف کرده و تجزیه سلولز و همی‌سلولز را به لیگنین ترجیح می‌دهند (Okano et al., 2005). همچنین در اغلب قارچ‌ها، تجزیه‌کننده‌های لیگنین کندتر از تجزیه‌کننده‌های لیگنین- سلولز عمل می‌کنند (Zadrazil, 1997). بنابراین، این احتمال وجود دارد که در کاه کلزا که بیشترین لیگنین (۱۰/۱۳ درصد) را در بین تیمارهای شاهد داراست قارچ، پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی قابل هضم را بیشتر از لیگنین حذف کرده‌باشد (Jalc et al, 1996). بنابراین مقدار لیگنین بیشتری در واحد وزن باقی می‌ماند. بر اساس یافته‌های Tuyen و همکاران (۲۰۱۲)، در بین ۱۱ قارچ پوسیدگی سفید، بیشترین کاهش ADL در کاه گندم به دلیل فرآوری با قارچ رنگین‌کمان پس از ۴۹ روز مشاهده شد.

هادی‌زاده تثبیتی و همکاران (۱۳۷۶)، در فرآوری کاه گندم با قارچ *Phanerochaete chrysosporium* و فضائلی و همکاران (۲۰۰۴) در فرآوری با قارچ‌های صدفی نیز نتایج مشابهی بدست آوردند. افزایش ADL در کاه کلزا بر اثر فرآوری، با مشاهدات Neijat و Gallagher (۱۹۹۷)، Jalc و همکاران (۱۹۹۸) و کفیل‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) همخوانی داشت.

در این آزمایش مقدار همی‌سلولز در کاه گندم، جو و کلزا پس از فرآوری کاهش معنی‌دار و در کاه زیره افزایش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵) (جدول ۱). در کاه زیره مقدار NDF پس از فرآوری افزایش معنی‌داری نشان داد.

بنابراین انتظار می‌رود اجزای دیواره سلولی (لیگنین، همی‌سلولز و سلولز) نیز افزایش یابند.

در آزمایش Jalc و همکاران (۱۹۹۶) که از پنج گونه بازیدیومیست برای فرآوری کاه گندم استفاده شد، در بین سه بخش دیواره سلولی- همی‌سلولز، سلولز و لیگنین- همی‌سلولز بیشترین کاهش را نشان داد درحالی‌که لیگنین کمترین کاهش را داشت.

همی‌سلولز با پیوند کووالانسی از طریق باندهای اتر یا استر به لیگنین متصل است و برخی از قارچ‌ها، آنزیم فرولویل استراز[۷] دارند که می‌توانند این باندها را تجزیه کنند. ممکن است شکستن این باندها، تجزیه لیگنین را تسهیل کند.

از طرف دیگر، تجزیه لیگنین ممکن است انحلال یا دست‌یابی به همی‌سلولز را افزایش دهد (Tuyen et al., 2012). کاهش

همی‌سلولز انواع کاه فرآوری‌شده در این آزمایش با مشاهدات Shrivastava و همکاران (۲۰۱۱) و Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی داشت.

در مدت رشد رویشی قارچ‌ها، فرآیند لیگنین‌زدایی با تجزیه سلولز همراه است (Tuyen et al., 2012). در این آزمایش، کاهش معنی‌دار سلولز فقط در تیمار کاه کلزا پس از فرآوری مشاهده شد (P<۰/۰۵) (جدول ۱).

بر خلاف این نتایج، در آزمایش Tuyen و همکاران (۲۰۱۲) که کاه گندم با قارچ رنگین‌کمان عمل‌آوری شد، کاهش معنی‌داری در سلولز به‌وجود آمد. اختلاف مشاهده‌شده می‌تواند به دلیل تفاوت در مدت زمان کشت و مقیاس فرآوری باشد.

در جدول ۱، مقدار کیتین موجود در کاه‌های فرآوری‌شده بر اساس درصد در ماده خشک کاه بیان شده‌است. کیتین در دیواره سلولی و غشای میسلیوم وجود دارد بنابراین، مقدار آن می‌تواند بیانگر میزان رشد قارچ باشد (Mario et al., 2008). کاه عمل‌آوری شده، مخلوطی از کاه و میسلیوم قارچ است. بنابراین اندازه‌گیری توده قارچ (کیتین) در این مخلوط بسیار مشکل است. به همین دلیل در آزمایش‌هایی که تا کنون انجام شده میسلیوم به‌طور جداگانه کشت و مقدار کیتین آن اندازه‌گیری شده‌است (Arora and Sharma, 2011).

بر اساس یافته‌های Mario و همکاران (۲۰۰۸)، مقدار کیتین در میسلیوم قارچ رنگین‌کمان پس از ۲۱ روز، ۱۳/۱٪ بود.

در آزمایش حاضر، برای بررسی میزان رشد قارچ روی هرکاه از روش حذف کیتین استفاده شد و نتایج نشان دادند که کاه زیره فرآوری‌شده بیشترین مقدار کیتین را دارا بود (۴٪) (P<۰/۰۵) و این نشان می‌دهد که قارچ روی این کاه بیشترین رشد را داشته است. کاهش معنی‌دار مواد آلی در این کاه پس از فرآوری نیز این مسئله را تأیید می‌کند. بر اساس جدول ۱، ترکیبات شیمیایی کاه‌های جو و گندم شاهد، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت (P<۰/۰۵) و همین می‌تواند موجب یکسان بودن میزان رشد قارچ روی این دو کاه باشد (۲/۵۳٪ کیتین در کاه گندم و ۲/۴۶٪ در کاه جو پس از فرآوری).

مقدار کیتین در کاه کلزای فرآوری‌شده بیشتر از کاه‌های گندم و جو بود (۳/۱۳٪) که علت آن می‌تواند کمتر بودن مقدار دیواره سلولی (NDF) در کاه کلزای شاهد نسبت به کاه‌های جو و گندم شاهد باشد و با توجه به اینکه نسبت ماده آلی در کاه کلزای شاهد تفاوت معنی‌داری با کاه‌های جو و گندم شاهد نداشت (P<۰/۰۵)، بنابراین، نسبت مواد محلول در آن بیشتر بوده‌است که همین موجب رشد سریعتر قارچ در این کاه شده است (Zadrazil and Puniya, 1995).

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک

درصد تجزیه‌پذیری ماده خشک انواع کاه، قبل (شاهد) و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان در زمان‌های مختلف انکوباسیون در شکمبه در جدول ۲ گزارش شده‌است. با توجه به این جدول، تجزیه‌پذیری ماده خشک کاه زیره فرآوری‌شده تنها در زمان ۶ و ۱۲ ساعت افزایش معنی‌داری نشان داد و پس از آن با افزایش زمان انکوباسیون در شکمبه، نسبت به شاهد کاهش یافت (P<۰/۰۵). این مسئله می‌تواند با کاهش مقدار ماده آلی در کاه زیره فرآوری شده مرتبط باشد. تا ۲۴ ساعت پس از انکوباسیون، تجزیه‌پذیری ماده خشک کاه گندم تیمارشده نسبت به شاهد رو به افزایش بود و پس از آن در زمان ۹۶ ساعت، کاهش معنی‌داری یافت (P<۰/۰۵). تجزیه‌پذیری ماده خشک کاه جو پس از فرآوری در همه زمان‌های انکوباسیون نسبت به شاهد بیشتر بود. در کاه کلزای فرآوری‌شده، تجزیه‌پذیری ماده خشک تنها در زمان‌های صفر و ۶ ساعت افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد و از زمان ۲۴ تا ۹۶ ساعت کاهش معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۵). این مسئله شاید به دلیل وجود لیگنین باشد (Jalc et al., 1998) زیرا که کاه کلزا بیشترین لیگنین را در تیمارهای شاهد و فرآوری‌شده داشت. نتایج تجزیه چند نوع خوراک توسط قارچ‌های شکمبه نشان دادند که خوراکی که بیشترین لیگنین را داشت به مقدار کمتری تجزیه شد (قورچی و همکاران، ۱۳۸۲). البته در نتیجه برخی آزمایش‌ها، گزارش شد که مقدار تجزیه لیگنین با تغییر در قابلیت هضم مرتبط نبود (Zadrazil and Puniya, 1995; Tuyen et al., 2012).

جدول ۲- تجزیه‌پذیری ماده خشک (درصد) انواع کاه، قبل (شاهد) و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان در زمان‌های مختلف (ساعت) انکوباسیون در شکمبه

تیمارهای آزمایشی*	صفر	۶	۱۲	۲۴	۴۸	۷۲	۹۶
کاه زیره شاهد	۲۸/۵۰ a	۴۹/۵۷ b	۵۹/۹۰ b	۶۷/۴۳ a	۶۸/۸۸ a	۷۰/۱۳ a	۷۱/۰۲ a
کاه زیره فرآوری‌شده	۲۸/۹۴ a	۶۲/۴۰ a	۶۴/۴۳ a	۶۴/۵۶ b	۶۴/۶۰ b	۶۴/۶۱ b	۶۶/۰۰ b
کاه گندم شاهد	۱۱/۹۶ e	۱۷/۱۶ e	۲۱/۱۳ f	۲۶/۵۰ e	۲۸/۸۶ cd	۲۸/۸۸ e	۳۳/۲۳ cd
کاه گندم فرآوری‌شده	۱۴/۶۰ cd	۲۳/۸۶ d	۲۶/۲۳ de	۲۷/۳۴ e	۲۷/۴۶ d	۲۷/۸۰ e	۲۷/۸۴ e
کاه جو شاهد	۱۳/۳۰ de	۱۹/۴۳ e	۲۳/۰۳ f	۲۶/۳۶ e	۲۷/۹۳ d	۲۸/۱۲ e	۲۸/۱۴ e
کاه جو فرآوری‌شده	۱۵/۷۰ c	۲۳/۳۳ d	۲۵/۵۳ e	۲۸/۳۰ de	۳۰/۴۶ cd	۳۱/۱۳ cd	۳۱/۳۰ cd
کاه کلزا شاهد	۱۶/۲۶ c	۲۳/۸۰ d	۲۸/۲۰ cd	۳۲/۴۶ c	۳۴/۹۰ c	۳۵/۴۰ c	۳۵/۵۳ c
کاه کلزا فرآوری‌شده	۲۰/۶۰ b	۲۸/۴۳ c	۲۹/۲۶ c	۳۰/۱۶ d	۳۰/۶۶ d	۳۰/۷۶ d	۳۰/۷۶ d
SEM	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۲۷	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۵۱

*حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار (P<۰/۰۵) بین تیمارها می‌باشد.

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک انواع کاه قبل (شاهد) و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان در جدول ۳ نشان داده شده‌است.

در بین تیمارهای شاهد، کاه زیره بیشترین مقدار بخش سریع تجزیه یا محلول در آب (a) را داراست (۲۸/۵۰ درصد) (P<۰/۰۵).

کاه زیره به دلیل سست بودن اجزای ساقه و نازک بودن برگ‌ها، پس از خشک شدن و برداشت بسیار شکننده بوده و خرد می‌شود. علاوه براین، کم بودن بخش فیبری این کاه (جدول ۱)، باعث می‌شود سریع‌تر از سایر کاه‌ها در آب حل شده و از کیسه‌های نایلونی خارج شود.

بنابراین بخش سریع‌تجزیه افزایش می‌یابد. بخش سریع تجزیه یا محلول در آب (a) در تیمارهای کاه گندم، جو و کلزا پس از فرآوری افزایش معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۵).

پس از تشکیل میسلیوم قارچ روی بستر، بخش زیادی از الیاف و پلی‌ساکاریدها بر اثر آنزیم‌های برون سلولی قارچ تجزیه می‌شود و اجزای محلول در آب و محلول در شوینده خنثی افزایش می‌یابند (Okano et al., 2005) به همین دلیل بخش a پس از فرآوری افزایش یافت. این نتایج مطابق با گزارش‌های ناصحی و همکاران (۱۳۹۱) و فضائلی و همکاران (۲۰۰۴) مربوط به عمل‌آوری کاه با قارچ صدفی بود.

جدول ۳- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تجـزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک (درصد) انواع کاه، قبل (شاهد) و بعد از فرآوری با قارچ رنگین‌کمان

تیمارهای آزمایشی*	فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (٪)					تجزیه‌پذیری مؤثر (٪)		
	a	b	a+b	c		۲	۵	۸
کاه زیره شاهد	۲۸/۵۰ ^{a}	۴۱/۲۹ ^{a}	۶۹/۸۰ ^{a}	۰/۱۱ ^{a}		۶۳/۸۶ ^{a}	۵۷/۵۶ ^{b}	۵۳/۲۰ ^{b}
کاه زیره فرآوری‌شده	۲۸/۹۴ ^{a}	۳۵/۶۷ ^{b}	۶۴/۶۱ ^{b}	۰/۴۸ ^{a}		۶۳/۱۶ ^{a}	۶۱/۲۰ ^{a}	۵۹/۴۳ ^{a}
کاه گندم شاهد	۱۱/۹۷ ^{e}	۲۲/۱۵ ^{c}	۳۴/۱۳ ^{cd}	۰/۰۴ ^{a}		۲۷/۲۶ ^{de}	۲۲/۴۰ ^{e}	۱۹/۹۰ ^{e}
کاه گندم فرآوری‌شده	۱۴/۶۰ ^{cd}	۱۳/۲۲ ^{de}	۲۷/۸۲ ^{e}	۰/۲۴ ^{a}		۲۶/۵۶ ^{de}	۲۵/۱۰ ^{d}	۲۴/۰۳ ^{d}
کاه جو شاهد	۱۳/۳۱ ^{de}	۱۴/۸۳ ^{d}	۲۸/۱۴ ^{e}	۰/۰۸ ^{a}		۲۵/۴۰ ^{e}	۲۲/۸۰ ^{e}	۲۱/۱۰ ^{e}
کاه جو فرآوری‌شده	۱۵/۶۸ ^{c}	۱۵/۷۲ ^{d}	۳۱/۴۰ ^{cde}	۱/۰۲ ^{a}		۲۸/۳۰ ^{cd}	۲۵/۹۳ ^{d}	۲۴/۵۶ ^{d}
کاه کلزا شاهد	۱۶/۲۷ ^{c}	۱۹/۲۸ ^{c}	۳۵/۵۶ ^{c}	۰/۰۸ ^{a}		۳۱/۶۳ ^{b}	۲۸/۰۶ ^{c}	۲۵/۹۳ ^{d}
کاه کلزا فرآوری‌شده	۲۰/۵۶ ^{b}	۱۰/۱۸ ^{e}	۳۰/۷۴ ^{de}	۱/۱۳ ^{a}		۲۹/۹۰ ^{bc}	۲۹/۰۶ ^{c}	۲۸/۵۳ ^{c}
SEM	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۵۲	۰/۱۴		۰/۲۸	۰/۲۲	۰/۲۶

*حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P<0/05$) بین تیمارها می‌باشد.

a= بخش سریع تجزیه، b= بخش کند تجزیه، a+b= تجزیه‌پذیری کل، c= نرخ ثابت تجزیه‌پذیری بخش b.

بخش کندتجزیه (b) در کاه زیره، گندم و کلزای فرآوری‌شده کاهش معنی‌داری نشان داد اما در کاه جو فرآوری‌شده تغییر معنی‌داری به‌وجود نیامد ($P<0/05$). بخش b شامل مواد نامحلول در آب است و کاهش آن نشان می‌دهد که اجزای نامحلول کاهش یافته‌اند. در بخش پتانسیل تجزیه‌پذیری (a+b) تیمارهای کاه زیره، گندم و کلزا پس از فرآوری کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد مشاهده شد ($P<0/05$) که عمدتاً به‌دلیل کاهش در بخش b روی داده‌است. یافته‌های ناصحی و همکاران (۱۳۹۱) و فضائلی و همکاران (۲۰۰۴) در مورد فرآوری با قارچ‌های صدفی بر خلاف نتایج این آزمایش بود. نرخ ثابت تجزیه‌پذیری (c) پس از فرآوری در همه تیمارها افزایش یافت اما معنی‌دار نبود ($P<0/05$). در آزمایش فضائلی و همکاران (۲۰۰۴) که چند گونه قارچ صدفی روی کاه گندم کشت شدند، افزایش نرخ ثابت تجزیه‌پذیری ماده خشک کاه عمل‌آوری‌شده نسبت به شاهد معنی‌دار بود. این اختلاف در نتایج ممکن است به دلیل تفاوت در نوع قارچ، نوع ماده زمینه و شرایط کشت باشد (Zadrazil, 1993).

تجزیه‌پذیری مؤثر در کاه زیره فرآوری‌شده در نرخ عبورهای ۵ و ۸ درصد، افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد ($P<0/05$). در کاه گندم نیز افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبورهای ۵ و ۸ درصد بر اثر تیمار با قارچ معنی‌دار بود ($P<0/05$). اما در کاه جو پس از فرآوری، افزایش معنی‌داری در نرخ عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد نسبت به شاهد مشاهده شد ($P<0/05$). تجزیه‌پذیری مؤثر در کاه کلزای فرآوری‌شده تنها در نرخ عبور ۸ درصد افزایش یافت ($P<0/05$). در آزمایش ناصحی و همکاران (۱۳۹۱)، کاه کانولا با قارچ صدفی فلوریدا در مقیاس آزمایشگاهی عمل‌آوری شد و تجزیه‌پذیری مؤثر کاه در نرخ عبورهای ۲، ۵ و ۸ درصد نسبت به شـاهد افزایش یافت.

نتایج آزمایش Zadrazil (۱۹۹۷) نشان داد، قابلیت هضم کاه فرآوری شده در شرایط آزمایشگاهی بیشتر از مقیاس بزرگ و صنعتی بود. به طور کلی، افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر کاه‌ها بر اثر فرآوری با قارچ، با نتایج پژوهش‌ها درمورد قارچ‌های صدفی (فضائلی و همکاران، ۲۰۰۴) و قارچ *Lentinus tuberregium* (Flachowsky et al., 2001) همخوانی داشت.

در مدت رشد ونمو قارچ، موادی که به آسانی حل می‌شوند

(عموماً قندها و فنل‌ها) در مقادیر زیاد آزاد می‌شوند. این مواد، به ویژه قندها وقتی در سوبسترا تجمع می‌یابند باعث افزایش قابلیت تخمیر کاه توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه می‌شوند (Zadrazil, 1997). همچنین در پی فرآوری بقایای محصولات کشاورزی با قارچ و تجزیه دیواره سلولی سوبسترا، میکروارگانیسم‌های شکمبه به کربوهیدرات‌های ساختمانی بیشتری دسترسی پیدا می‌کنند که موجب تجزیه بیشتر مواد خوراکی در شکمبه و افزایش سرعت عبور خوراک از دستگاه گوارش می‌شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۳).

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش حاضر، می‌توان چنین نتیجه گرفت که میزان رشد قارچ رنگین‌کمان (*Trametes versicolor*)، در مدت زمان ۲۱ روز با شرایط محیطی یکسان، روی انواع کاه متفاوت بود و موجب تغییرات متفاوتی در ترکیب شیمیایی و دیواره سلولی آنها شد. قارچ، در محیط کشت کاه زیره، براساس میزان کیتین بیشترین رشد را داشت. کاه‌های گندم و جو فرآوری‌شده مقدار پروتئین خام بیشتر و همی‌سلولز و لیگنین کمتری نسبت به شاهد داشتند و کاه کلزای فرآوری‌شده پروتئین خام بیشتر و همی‌سلولز و سلولز کمتری نسبت به شاهد داشت. یافته‌ها و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک نیز در بین انواع کاه متفاوت بود و در کاه جو و گندم نتایج آن بهتر بود.

پاورقی‌ها

1. Basidiomycetes
2. Ascomycetes
3. Schanel
4. Carpophore
5. Rapeseed straw
6. Cumin straw
7. Feruloyl esterase

منابع مورد استفاده

دهقانی، م.ر.، ضمیری، م. ج.، روغنی، ا. و بنی‌هاشمی ض. (۱۳۸۳) گوارش‌پذیری تفاله شیرین بیان (*Glycyrrhizaglabara L.*) فرآوری شده با قارچ *Pleurotus sajorcaju*. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۳: ۱۱۹-۱۱۳.

فضائلی، ح. (۱۳۸۷) قابلیت هضم و مصرف اختیاری کاه گندم عمل‌آوری شده با قارچ صدفی در گوسفند و گاو. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۴۳: ۵۳۱-۵۲۳.

قورچی، ت.، رحیمی، ش.، رضائیان، م. و قربانی غ. ر. (۱۳۸۲) تجزیه ماده خشک و الیاف پنج نوع ماده خوراکی به‌وسیله قارچ‌های بی‌هوازی شکمبه گوسفند. *علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۲: ۱۴۹-۱۴۱.

ناصحی، م.، تربتی‌نژاد، ن. م.، زره‌داران، س. و صفایی ا. ر. (۱۳۹۱) بررسی تجزیه‌پذیری کاه سویا و کانولای عمل-آوری شده با قارچ *پلوروتوس فلوریدا* به روش کیسه‌های نایلونی در گوسفند. پنجمین کنگره علوم دامی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۲۱-۱۳۱۷.

هادی‌زاده تثبیتی، ع. ر.، میرهادی، ا. و غلامی ح. (۱۳۷۶) لیگنین-زدایی بیولوژیکی کاه گندم با استفاده از بازیدیومیست *Phanerochaete chrysosporium*. *پژوهش و سازندگی*، ۳۷: ۱۰۹- ۱۰۵.

Arora, D. S. and Sharma, R. K. (2011) Effect of different supplements on bioprocessing of wheat straw by *Phlebia brevispora*: Changes in its chemical composition, in vitro digestibility and nutritional properties. *Bioresource Technology*, 102: 8085-8091.

Beg, Sh., Zafar, S.I. and Shah, F.H. (1986) Rice husk biodegradation by *Pleurotus ostreatus* to produce a ruminant feed. *Agricultural Wastes*, 17: 15-21.

Belzecki, G., Miltko, R., Michalowski, T., Šimunek, J. and Kopecny, J. (2008) Chitinolytic activity of the sheep rumen ciliate *Diploplastron affine*. *Folia Microbiology*, 53 (3): 201-203.

Fazaeli, H., Mahmodzadeh, H., Azizi, A., Jelan, Z.A., Liang, J.B., Rouzbehan, Y. and Osman, A. (2004) Nutritive Value of Wheat Straw Treated with *Pleurotus* Fungi. *Asian-Australian Journal Animal Science*, 17(12): 1681-1688.

Flachowsky, G., Isikhuemhen, O.S., Wagner, K., Loose, K. and Zadrazil, F. (2001) In sacco degradability of wheat straw residues after growing of *Lentinus tuberregium* (Fr.) Fr. *Journal of Applied Animal Research*, 20: 33-40 (Abst.).

Jalc, D., Nerud, F. and Siroka, P. (1998) The effectiveness of biological treatment of wheat straw by white-rot fungi. *Folia Microbiology*, 43 (6): 687-689.

Jalc, D., Nerud, F., Zrtnan, R. and Sirika, P. (1996) The effect of white-rot Basidiomycetes on chemical composition and in vitro digestibility of wheat straw. *Folia Microbiology*, 41(1): 73-75.

Jurado, M., Martinèz, À.T. and Martinez, M.J. (2011) Application of white-rot fungi in transformation, detoxification, or revalorization of agriculture wastes: role of lactase in the processes. *Comprehensive Biotechnology*, 6: 595-603.

Kafilzadeh, F., Hozhabri, F. and Kabirifard, A. (2009) Effect of *Pleurotus florida* on in vitro gas production of wheat stubble and date palm leaf. *Research Journal of Biological Sciences*, 4 (1): 37-41.

Komarek, A.R. (1994) Fiber analysis system. United states patent 5, 370, 007.

Mario, F.D., Rapan`a, P., Tomati, U. and Galli, E. (2008) Chitin and chitosan from basidiomycetes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 43: 8-12.

Neijat, M.S. and Gallagher, J.R. (1997) Chemical composition and nutritive value of pea straw subjected to fungal fermentation. *Tropical Anita*, 4: 216-218.

Official Methods of Analysis of AOAC International (2005) 18th Ed., AOAC international. Gaithersburg, MD, USA.

Okano, K., Iida, Y., Samsuri, M., Prasetya, B., Usagawa, T. and Watanabe, T. (2006) Comparison of in vitro digestibility and chemical composition among sugarcane bagasses treated by four white-rot fungi. *Animal Science Journal*, 77:308–313.

Okano, K., Kitagawa, M., Sasaki, Y. and Watanabe, T. (2005) Conversion of Japanese red cedar (*Cryptomeria japonica*) into a feed for ruminants by white-rot basidiomycetes. *Animal Feed Science and Technology*, 120: 235-243.

Ørskov, E.R. and McDonald, I. (1979) The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agricultural Science Cambridge*, 92: 499-503.

Ørskov, E.R., Deb Hovell, F.D. and Mould, F. (1980) The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, 5 (3): 195-213.

Pillai, C.K.S., Paul, W. and Sharma, C. P. (2009) Chitin and chitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Progress in Polymer Science*, 34: 641-678.

Rodrigues, M. A. M., Pinto, P., Bezerra, R. M. F., Dias, A. A., Guedes, C. V. M., Cardoso, V. M. G., Cone, J. W., Ferreira, L. M. M., Colaco, J. and Sequeira, C. A. (2008) Effect of enzyme extracts isolated from white-rot fungi on chemical composition and in vitro digestibility of wheat straw. *Animal Feed Science and Technology*, 141: 326-338.

Sarnklong, C., Cone, J.W., Pellikaan, W. and Hendriks, W.H. (2010) Utilization of rice straw and different treatments to improve its feed value for ruminants: a review. *Asian-Australian Journal Animal Science*, 23(5): 680-692.

Schmidt, O. (2007) *Wood and Tree Fungi*. Springer, Germany, 334 pp.

Shrivastava, B., Thakur, S., Khasa, Y.P., Gupte, A., Puniya, A.K. and Kuhad, R.C. (2011) White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. *Biodegradation*, 22 (4): 823-831.

Tuyen, V.D., Cone, J.W., Baars, J.J.P., Sonnenberg, A.S.M. and Hendriks, W.H. (2012) Fungal strain and incubation period affect chemical composition and nutrient availability of wheat straw for rumen fermentation. *Bioresource Technology*, 111: 336-342.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A. (1991) Methods of dietary fibre, neutral detergent fibre and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74(10): 3583-3597.

Wong, D.W.S. (2009) Structure and action mechanism of ligninolytic enzymes. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 157:174-209.

Zadrazil, F. (1993) Conversion of lignocellulosics into animal feed with white rot fungi. Proceedings of the first international conference on Mushroom Biology and Mushroom Products, Chinese University of Hong Kong, 151-162.

Zadrazil, F. (1997) Changes in invitro digestibility of wheat straw during fungal growth and after harvest of oyster mushrooms *(Pleurotus* spp.) on laboratory and industrial scale. *Journal of Applied Animal Research*, 11: 37-48.

Zadrazil, F. and Puniya, A.K. (1995) Studies on the effect of particle size on solid-state fermentation of sugarcane bagasse into animal feed using white-rot fungi. *Bioresource Technology*, 54: 85-87.