نشریه پژوهش در نشخوارکنندگان
جلد سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴
http://ejrr.gau.ac.ir

تأثیر روش فرآوری، زمان بخارهی و تنظیم فاصله غلطک بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دانه جو

*خلیل صفائی[۱]، غلامرضا قربانی[۲]، مسعود علیخانی[۳]، علی صادقی سفید مزگی[۴]، ون ژو یانگ[۵] و فاضل محمدی[۶]

[۱]دانشجوی دکتری، [۲]استاد، [۳]دانشیار، [۴]استادیار و [۶]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، [۵]استاد، مرکز تحقیقات کشاورزی و کشاورزی- غذای کانادا، مرکز تحقیقات لتبریج، آلبرتا، کانادا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: دانه کامل جو به‌دلیل دارا بودن پریکارپ سالم در برابر اتصال باکتریایی شکمبه و گوارش توسط نشخوارکنندگان مقاوم است. بنابراین، به‌منظور دسترسی جمعیت میکروبی شکمبه به آندوسپرم احاطه شده توسط پریکارپ و پوسته غیرقابل هضم، فرآوری دانه جو ضرورت دارد. هدف از این مطالعه ارزیابی اثرات روش فرآوری (آسیاب در مقابل ورقه نمودن با بخار) در قالب طرح کاملاً تصادفی و بررسی تأثیرات سه زمان بخاردهی، دو فاصله غلطک و اثر متقابل این دو به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و آلی دانه جو بود.

مواد و روش‌ها: ۵ گرم از هر یک از تیمارهای جو فرآوری شده (آسیاب شده با استفاده از توری ۳ میلی‌متر یا ورقه شده با بخار طی سه زمان بخاردهی ۳۵، ۴۵ یا ۵۵ دقیقه و دو فاصله غلطک ۰/۳ یا ۰/۴ میلی‌متر برای هر زمان بخاردهی) بر اساس ماده خشک با سه تکرار درون کیسه‌هایی از جنس پلی‌استر با اندازه منافذ ۵۰ میکرومتر و با ابعاد ۲۰ × ۱۰ سانتی‌متر ریخته و داخل شکمبه یک راس گاو غیرشیرده هلشتاین به‌مدت ۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ و ۴۸ ساعت قرار داده و هر یک از ساعات کیسه‌گذاری سه بار تکرار شدند. باقی‌مانده ماده خشک و آلی بر حسب زمان کیسه‌گذاری به کمک نرم‌افزار آماری SAS تجزیه و تحلیل گردیدند.

*مسئول مکاتبه: kh.safaei@gmail.com

یافته‌ها: روش فرآوری سبب تغییر چگالی دانه جو آسیاب شده (۶۱۶ گرم بر لیتر) و ورقه شده با بخار (به‌طور میانگین ۲۸۵ گرم بر لیتر) در مقایسه با دانه کامل جو (۶۸۴ گرم بر لیتر) شد. افزایش وسعت فرآوری سبب کاهش چگالی دانه جو ورقه شده با بخار از ۳۹۰ به ۱۸۰ گرم بر لیتر و ضخامت از ۱/۵ به ۱/۰ میلی‌متر گردید. آسیاب کردن جو در مقایسه با ورقه نمودن با بخار سبب افزایش درصد ناپدیدی ماده خشک و آلی، افزایش بخش سریع تجزیه (۲۸/۶ در مقابل ۲۱/۶ درصد)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۱۰ در مقابل ۰/۰۵ در ساعت)، تجزیه-پذیری مؤثر (۶۰/۴ در مقابل ۴۷/۵ درصد) و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۵۱/۷ در مقابل ۵۶/۰ درصد) و غیرقابل تجزیه (۱۹/۷ در مقابل ۲۲/۵) ماده خشک و افزایش بخش سریع تجزیه (۲۸/۳ در مقابل ۲۱/۴ درصد)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۱۰ در مقابل ۰/۰۵ در ساعت)، تجزیه‌پذیری مؤثر (۶۰/۶ در مقابل ۴۷/۶ درصد) و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۵۲/۶ در مقابل ۵۶/۵ درصد) و غیرقابل تجزیه (۱۹/۱ در مقابل ۲۲/۱) ماده آلی دانه جو گردید ($P<0/01$). افزایش زمان بخاردهی و کاهش فاصله بین غلطک‌ها (در مقایسه گروهی فاصله غلطک ۰/۴ با ۰/۳ میلی‌متر) به‌طور میانگین سبب افزایش درصد ناپدیدی ماده خشک وآلی، اما کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۶۲/۶ در مقابل ۴۹/۴) و افزایش بخش سریع تجزیه (۱۷/۸ در مقابل ۲۵/۳)، بخش غیرقابل تجزیه (۱۹/۷ در مقابل ۲۵/۳)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۰۵ در مقابل ۰/۰۶ در ساعت) و تجزیه‌پذیری مؤثر (۴۴/۱ در مقابل ۵۰/۹) ماده خشک و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۶۲/۹ در مقابل ۵۰/۱) و افزایش بخش سریع تجزیه (۱۷/۷ در مقابل ۲۵/۱)، بخش غیرقابل تجزیه (۱۹/۵ در مقابل ۲۴/۹)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۰۵ در مقابل ۰/۰۶ در ساعت) و تجزیه‌پذیری مؤثر (۴۴/۲ در مقابل ۵۱/۰) ماده آلی جو ورقه شده با بخار شد ($P<0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که روش فرآوری می‌تواند چگالی، اندازه ذرات دانه جو و توزیع آن‌ها روی الک‌ها را تغییر دهد. آسیاب کردن در مقایسه با ورقه نمودن جو با بخار سبب افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و آلی گردید. تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و آلی دانه جو را می‌توان با بهینه نمودن متغیرهای مهم و دخیل در فرآیند ورقه‌ای نمودن با بخار (زمان بخارهی و تنظیم فاصله غلطک) مدیریت نمود.

واژه‌های کلیدی: دانه جو، آسیاب، گاو غیر شیرده، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، ورقه نمودن با بخار

مقدمه

جو در شمال غرب آمریکا، اروپا (۲۶ و ۲۸) و ایران، دانه غالب موجود در کنسانتره گاوهای شیری است. دانه کامل جو با پریکارپ صدمه ندیده، به‌دلیل مقاوم بودن به اتصال باکتریایی در شکمبه

به‌خوبی مورد هضم قرار نمی‌گیرد. دانه جو علاوه‌بر پریکارپ، به‌وسیله یک پوسته‌الیافی نیز احاطه شده است که قابلیت هضم پایینی دارد (۲۸). بنابراین فرآوری دانه جو به‌منظور دسترسی جمعیت میکروبی شکمبه به آندوسپرم احاطه شده توسط پریکارپ و پوسته غیرقابل هضم ضروری است (۲۵). فرآیندهای غیرحراراتی شامل غلطک زدن[۱] و آسیاب نمودن[۲]، حرارتی خشک عبارت از تف دادن[۳]، پف دادن[۴]، پف دادن با اشعه مادون قرمز[۵] و حرارتی مرطوب شامل اتوکلاو نمودن[۶]، ورقه نمودن با بخار[۷]، پلت کردن با بخار[۸]، اکسپند نمودن[۹]، اکسترود نمودن[۱۰] و برشته کردن[۱۱] می‌باشند که برای دستکاری نرخ تجزیه و قابلیت دسترسی شکمبه مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۶ و ۲۲). فرآوری‌های حرارتی با تغییر ماتریکس پروتئینی آندوسپرم دانه‌ها و تغییر ساختار نشاسته باعث افزایش راندمان تخمیر می‌شوند و امکان هضم بهتر میکروبی- آنزیمی را فراهم می‌نمایند (۲). روش‌های مختلف فرآوری دانه جو و تأثیر آن‌ها بر عملکرد گاوهای شیری مورد مطالعه قرار گرفته است (۱۳، ۱۹ و ۲۱). آسیاب نمودن، مرسوم‌ترین روش فرآوری غلات در کشور است. آسیاب کردن جو به‌دلیل خرد شدن آن و تولید ذرات بسیار ریز، می‌تواند مشکلات متابولیکی (نفخ، اسیدوز، لنگش، آبسه‌های کبدی)، ناشی از مصرف دانه جو در سطوح بالا را تشدید نماید (۶). ورقه نمودن غلات با بخار نوعی سیستم فرآوری گسترده با کنترل کیفیت دقیق است. در این روش غلات به‌مدت ۳۰ تا ۶۰ دقیقه در لوله‌های عمودی از جنس استیل ضد زنگ برای افزایش رطوبت دانه به‌میزان ۱۸ تا ۲۰ درصد بخار داده می‌شوند و سپس توسط غلطک‌های بزرگی با چگالی‌های مشخص و مطلوبی ورقه می‌شوند (۲۳). هدف از فرآوری بهینه غلات، توازن بین حداکثر نمودن و کنترل نرخ هضم نشاسته در شکمبه در راستای استفاده حداکثری و پرهیز از ناهنجاری‌های گوارشی و متابولیکی است. فرآوری دقیق همراه با کنترل کیفیت جو دارای شاخص‌های مختلف فرآوری به‌واسطه چندین بار تنظیم فاصله بین

1- Roller
2- Hammer mill
3- Roasting
4- Popping
5- Micronizing
6- Autoclaving
7- Steam-flaking
8- Steam pelleting
9- Expanding
10- Extruding
11- Toasting

غلطک‌ها در مقایسه با جو فرآوری شده با یک بار تنظیم فاصله بین غلطک‌ها (تیمار کنترل) سبب افزایش قابلیت هضم پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی گردید که مجموعاً سبب ایجاد تمایل به افزایش قابلیت هضم ماده آلی شد (۲۷). در مطالعات دیگری که جو به‌صورت خشک، با بخار یا خیسانده به‌منظور افزایش درجه فرآوری از زبر تا نرم، غلطک زده شد و درون شکمبه گاوهای گوشتی (با دامنه‌ای از شاخص فرآوری از ۸۲ تا ۶۵ درصد) و گاوهای شیری (با دامنه‌ای از شاخص فرآوری از ۸۱ تا ۵۵/۵ درصد) کیسه‌گذاری شد، افزایش درجه فرآوری سبب افزایش خطی وسعت و نرخ تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه گردید (۶، ۷ و ۲۸). شاخص فرآوری برابر با چگالی جو بعد از فرآوری به چگالی آن قبل از فرآوری است (۲۸). تجزیه‌پذیری بالاتری از دانه جو آسیاب و کیسه‌گذاری شده در شکمبه گاوهای اخته پس از ۲۴ ساعت (۱۲)، یک راس گاو غیر شیرده به‌مدت ۴۸ ساعت (۸) یا گاوهای غیرشیرده هلشتاین در تمامی ساعات کیسه‌گذاری (۵) در مقایسه با جو ورقه شده با بخار گزارش شده است. مرور منابع حکایت از آن دارد که اطلاعات اندکی در خصوص تأثیر فرآوری ورقه نمودن با بخار بر ارزش غذایی جو و به‌ویژه با تأکید بر بررسی همزمان دو متغیر مهم زمان بخاردهی و فاصله بین غلطک‌ها موجود است. بنابراین اثرات مثبت استفاده از جو ورقه شده با بخار در معدود کارهای انجام شده از قبیل بهبود ارزش تغذیه‌ای (۱۸) و کاهش بیماری‌های متابولیک (۹) موجبات طراحی یک پروژه را با چندین آزمایش فراهم آورد. این آزمایش با هدف ارزیابی اثرات روش فرآوری (آسیاب در مقابل ورقه نمودن با بخار) در قالب طرح کاملاً تصادفی و بررسی تأثیرات سه زمان بخاردهی، دو فاصله غلطک و اثر متقابل این دو به صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۳ در قالب طرح کاملاً تصادفی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و آلی دانه جو انجام شد.

مواد و روش‌ها

فرآوری و خصوصیات جو فرآوری شده: عملیات فرآوری دانه جو پس از بوجاری کردن در کارخانه خوراک دام چاودانه (شهرضا، اصفهان) انجام شد. به همین منظور دانه جو آسیاب (با استفاده از توری ۳ میلی‌متر به‌عنوان تیمار شاهد) و با بخار ورقه‌ای شد. برای ورقه‌ای نمودن دانه جو با بخار، طی هر یک از زمان‌های ۳۵، ۴۵ و ۵۵ دقیقه هر بار غله درون مخزن دستگاه ریخته شد و با فشار ۱۰۰ پی اس

آی[1] تحت بخار قرار گرفت. به‌منظور تولید محصولاتی با چگالی‌های (گرم بر لیتر) مختلف، غلطک‌های دستگاه دو بار تنظیم و با فواصل ۰/۳ و ۰/۴ میلی‌متر، ۶ محصول متفاوت از جو ورقه شده با بخار دارای درجات مختلفی از فرآوری (۵۷، ۵۰، ۴۲، ۴۱، ۳۴ و ۲۶ درصد) تولید گردید. درجه فرآوری جو (چگالی جو بعد از فرآوری به چگالی آن قبل از فرآوری) بلافاصله پس از ورقه نمودن تعیین و به‌همین منظور از یک استوانه مدرج برای تعیین چگالی و یک دستگاه کولیس دیجیتال (شرکت سازنده وسایل اندازه‌گیری گانگلو، گویلین، چین) جهت اندازه‌گیری ضخامت و عرض دانه فرآوری شده استفاده گردید (۲۹ و ۳۱). تعیین درجه فرآوری جو نیازمند اندازه‌گیری چگالی جو بوجاری شده قبل از فرآوری (۶۸۴ گرم بر لیتر) است. توزیع ذرات تیمارهای مختلف جو فرآوری شده به روش یانگ و همکاران (۲۰۰۰) با استفاده از دستگاه دیجیتال مخصوص الک کردن (شرکت تولید کننده محصولات علمی دی جی، تهران) با بهره‌گیری از الک‌های ۳/۳۵، ۲/۳۶، ۱/۱۸، ۰/۶ میلی‌متر و سینی (با ترتیب قرار گرفتن نزولی) و با الک کردن حدود ۵۰ گرم (بر حسب ماده خشک) از هر یک از تیمارها با ۲ تکرار تعیین گردید (۲۸). میانگین طول هندسی و انحراف استاندارد توزیع ذرات (میلی‌متر) مطابق روش جامعه مهندسان کشاورزی آمریکا تعیین گردید (۳).

حیوان و جیره غذایی: قبل از اجرای آزمایش تمامی مواد خوراکی (جدول ۱) تشکیل دهنده جیره از نظر ترکیب شیمیایی در آزمایشگاه تجزیه خوراک دام گروه علوم دامی دانشگاه صنعتی اصفهان مورد بررسی قرار گرفتند. جیره‌ای متشکل از مواد خوراکی (درصدی از ماده خشک) شامل یونجه خرد شده (۵۲/۵)، سیلوی ذرت (۲۴/۱)، تفاله چغندرقند (۳/۳)، جو ورقه شده با بخار (۱۴/۱)، کنجاله سویا (۰/۷)، پودر ماهی (۰/۷)، پودر چربی (۰/۷)، مونو کلسیم فسفات (۰/۴)، بی‌کربنات سدیم (۰/۷)، اکسید منیزیم (۰/۷)، مکمل مواد معدنی (۱/۱)، مکمل ویتامینی (۰/۷) و نمک (۰/۳) برای تأمین احتیاجات نگهداری یک راس گاو غیرشیرده هلشتاین با وزن ۶۹۵ کیلوگرم دارای فیستولای دائمی با استفاده از نرم‌افزار جیره نویسی کربوهیدرات و پروتئین خالص کرنل[2] تهیه گردید. طی آزمایش جیره دو بار در روز در ساعات ۹:۳۰ و ۱۷:۳۰ به گاو درون جایگاه انفرادی تغذیه شد.

1- Pound-force per square inch (psi)
2- Cornell Net Carbohydrate and Protein System

جدول ۱- درصد و ترکیب شیمیایی مواد خوراکی طی آزمایش کیسه‌گذاری (درصدی از ماده خشک).

Table 1. Chemical composition of feeds during in situ experiment (DM based %).

کربوهیدراتهای غیر الیافی Non-fiber Carbohydrate	خاکستر Ash	عصاره اتری Ether Extract	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی Acid detergent Fiber	الیاف نامحلول در شوینده خنثی Neutral Detergent Fiber	نشاسته Starch	پروتئین خام Crude Protein	درصدی از ماده خشک* % of Dry Matter	ماده خشک Dry Matter	مواد خوراکی Feeds
27.9	7.5	2.1	35.0	47.5	----	15.0	52.5	91.0	یونجه Alfalfa hay
31.1	7.0	3.1	31.0	51.0	----	7.8	24.1	23.0	سیلوی ذرت Corn silage
38.7	5.7	1.0	22.0	45.0	----	9.6	3.3	91.0	تفاله چغندر Beet pulp
61.0	2.1	2.3	7.4	22.5	60.7	12.1	---	90.6	جو آسیاب شده Ground barley
60.7	2.2	2.7	7.7	22.1	59.0	12.3	14.1	88.4	جو ورقه شده با بخار Steam-flaked barley
27.0	6.5	2.5	9.0	14.0	----	50.0	0.7	89.0	کنجاله سویا Soybean meal
----	15.0	17.1	----	----	----	60.0	0.7	90.0	پودر ماهی Fish meal

* پودرچربی کلسیمی نوتراکور- جی دی اس (۰/۷)، مونوکلسیم فسفات (۰/۴)، بی‌کربنات سدیم (۰/۷)، اکسید منیزیم (۰/۷)، نمک (۰/۳)، مکمل معدنی (۱/۱) و مکمل ویتامینی (۰/۷ درصد) در مجموع ۴/۶ درصد ماده خشک جیره را تشکیل دادند.

Nutracor-Jds fat supplement (0.7), monocalcium phosphate (0.4), sodium bicarbonate (0.7), magnesium oxide (0.7), salt. (0.3), mineral premix (1.1), and vitamin premix (% 0.7), altogether constituted % 4.6 of the diet dry matter.

آزمایش کیسه‌گذاری: کینتیک هضم شکمبه‌ای دانه‌های جو فرآوری شده طی مطالعه کیسه‌گذاری مطابق روش یانگ و همکاران (۲۰۰۰) تعیین گردید (۲۸). به‌همین منظور ۵ گرم (بر حسب ماده خشک) از تمامی ۷ تیمار جو فرآوری شده با سه تکرار درون کیسه‌هایی از جنس پلی استر (پارچه آلمانی با اندازه منافذ ۵۰ میکرومتر و با ابعاد ۲۰ × ۱۰ سانتی‌متر که لبه‌های کیسه‌ها با استفاده از دستگاه مخصوص و به واسطه حرارت[1] به هم دوخته شدند) ریخته و درب هر کیسه با نخی با وزن مشخص بسته شد، همه کیسه‌ها همزمان درون کیسه توری بزرگتری با ابعاد ۳۰ × ۲۰ سانتی‌متر و دارای منافذ ۵

1- Heat-sealed

× ۳ میلی‌متر قرار گرفته و طی هر بار کیسه‌گذاری ساعت ۹ صبح داخل شکمبه یک راس گاو غیرشیرده هلشتاین به‌مدت ۰، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴ یا ۴۸ قرار داده شدند. به‌منظور افزایش دقت انجام آزمایش و جبران تعداد دام، هر یک از ساعات کیسه‌گذاری به‌طور متوالی، سه بار تکرار شدند. پس از هر یک از ساعات کیسه‌گذاری، همه کیسه‌های درون کیسه بزرگتر همزمان از شکمبه خارج شده و به‌مدت ۲۰ دقیقه زیر جریان شیر آب قرار گرفتند تا آب حاصل از شستشوی کیسه‌ها شفاف گشت. سپس تمامی کیسه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت به آون دارای ۵۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شده، خشک و توزین شدند. بر اساس اختلاف وزن کیسه‌ها و نمونه‌ها قبل و بعد از کیسه‌گذاری، درصد باقی‌مانده ماده خشک مشخص گردید. سپس محتویات درون کیسه‌ها بر حسب تیمار و ساعت کیسه‌گذاری با همدیگر مخلوط شدند و پس از آسیاب نمودن با توری ۱ میلی‌متر (آسیاب وایلی، شرکت اوگاو سیکو، ژاپن) برای تعیین درصد خاکستر به کوره الکتریکی دارای دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۸ ساعت انتقال داده شدند (۲۸). پس از اندازه‌گیری درصد خاکستر و تعیین ماده آلی هریک از نمونه، کینتیک ناپدیدی ماده خشک و آلی هر یک از تیمارها با استفاده از رویه رگرسیون غیرخطی نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. باقی‌مانده ماده خشک و آلی بر حسب زمان کیسه‌گذاری با بهره‌گیری از مدل غیرخطی $Y(t) = U + D \times e^{-kd \times t}$ تجزیه و تحلیل گردید (۱۰) که در آن $Y(t)$: نسبت ماده خشک (آلی) باقی‌مانده (درصد) به کل ماده خشک (آلی) ریخته شده درون هر یک از کیسه‌ها در زمان کیسه‌گذاری بر حسب ساعت (t) است، U: بخش غیرقابل تجزیه (درصد)، D: بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (درصد)، kd: نرخ تجزیه بخش D در ساعت است. تجزیه‌پذیری مؤثر[1] (ED) ماده خشک (آلی) با فرض نرخ عبور شکمبه‌ای (kp) برابر ۰/۰۶ (۲۱) و با استفاده از رابطه ریاضی معرفی شده توسط ارسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) به شرح $ED = W + (D \times kd)/(kd + kp)$ محاسبه، تجزیه و تحلیل گردید (۱۵). بخش سریع تجزیه[2] (W)، تصور بر این است که به سرعت تجزیه می‌گردد، بر اساس این واقعیت که $W + D + U = 100$ و $W = 100 - D - U$ محاسبه گردید (۱۰).

آنالیز شیمیایی: مواد خوراکی از نظر درصد ماده خشک، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، عصاره اتری و خاکستر (۴) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (۲۴) در آزمایشگاه تجزیه

1- Effective degradability (ED)
2- Washable fraction (W)

خوراک دام گروه علوم دامی دانشگاه صنعتی اصفهان مورد بررسی قرار گرفتند. درصد نشاسته جو آسیاب و ورقه شده با بخار با استفاده از دستگاه ان آی آر اس[1] مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه (پرتن، مدل دیود ۷۲۰۰، سوئد) اندازه‌گیری شد. ماده آلی تیمارهای جو استفاده شده برای انجام آزمایش کیسه‌گذاری پس از تعیین درصد خاکستر نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره الکتریکی (۲۴) تعیین گردید. درصد کربوهیدرات غیرالیافی مواد خوراکی با ستفاده از معادله پیشنهادی ان آر سی (۲۰۰۱) محاسبه گردید (۱۴).

تجزیه و تحلیل آماری: داده‌های این پژوهش به‌منظور بررسی اثر نوع فرآوری (آسیاب در مقابل ورقه نمودن با بخار) بر خصوصیات غله و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و به‌منظور ارزیابی اثرات زمان بخاردهی، فاصله غلطک و اثر متقابل این دو بر ویژگی‌های غله و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری به‌صورت آزمایش فاکتوریل ۲×۳ (سه زمان بخاردهی ۳۵، ۴۵ یا ۵۵ دقیقه و دو فاصله غلطک ۰/۳ یا ۰/۴ میلی‌متر برای هر زمان بخاردهی) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. مدل آماری استفاده شده برای بررسی اثر نوع فرآوری $Yij = \mu + Ti + eij$ می‌باشد که در آن Yij: مقدار هر مشاهده، μ: میانگین کل، Ti: اثر تیمار (نوع فرآوری) و eij: اثر تصادفی باقی‌مانده‌ها می‌باشند. برای ارزیابی اثرات زمان بخاردهی، فاصله غلطک و اثر متقابل این دو از مدل آماری $Yij = \mu + Ai + Bj + ABij + eij$ استفاده شد که در آن Yij: مقدار هر مشاهده، μ: میانگین کل، Ai: اثر ثابت i امین زمان بخاردهی، Bj: اثر ثابت j امین فاصله غلطک، ABij: اثر متقابل i امین زمان بخاردهی در j امین فاصله غلطک، eij: اثر تصادفی باقی‌مانده‌ها می‌باشند. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از رویه مدل خطی تعمیم یافته و نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها به کمک آزمون توکی انجام شد. تفاوت بین میانگین صفات معنی‌دار گزارش گردید، چنانچه $P\leq ۰/۰۵$ بود.

نتایج و بحث

خصوصیات جو فرآوری شده: ویژگی‌های جو فرآوری شده (جدول ۲) نشان داد که فرآوری سبب تغییر چگالی دانه جو آسیاب شده (۶۱۶ گرم بر لیتر) و ورقه شده با بخار (به‌طور میانگین ۲۸۵ گرم بر

1- Near-infrared spectroscopy (NIRS)

لیتر) در مقایسه با دانه کامل جو (۶۸۴ گرم بر لیتر) می‌شود. مشابه با نتایج این آزمایش گزارش شده است که افزایش وسعت فرآوری جو (جو غلطک خورده با بخار[1] به درجات مختلف) سبب کاهش چگالی، ضخامت و افزایش عرض دانه گردید (۲۸).

جدول ۲- ویژگی‌های دانه جو آسیاب (شاهد) و ورقه شده با بخار با شاخص‌های[1] مختلف فرآوری.

Table 2. Characteristics of ground (control) and steam-flaked barley with various processing indexes[1].

جو ورقه شده با بخار دارای شاخص‌های مختلف[2] فرآوری (درصد) Steam-flaked barley with various[2] processing indexes						شاهد Control	فراسنجه Item
SFB26	SFB34	SFB41	SFB42	SFB50	SFB57		
180	230	280	290	340	390	616	چگالی (گرم بر لیتر) Density (gL^{-1})
1.0	1.1	1.2	1.3	1.0	1.5	---	ضخامت دانه (میلی‌متر) Kernel thickness (mm)
8.3	7.6	7.5	7.5	7.3	7.2	---	عرض دانه (میلی‌متر) Kernel width (mm)

[1]شاخص فرآوری برابر با چگالی جو بعد از فرآوری به چگالی آن قبل از فرآوری است (۲۸).

[1]Processing index is the volume weight of the barley after processing, expressed as a percentage of its volume weight before processing (28).

SFB57، SFB50، SFB43، SFB41، SFB34 و SFB27 برابر جو ورقه شده با بخار با درجات مختلف فرآوری است.

[2]SFB57, SFB50, SFB42, SFB41, SFB34 and SFB26 are steam-flaked barley (SFB) with different degrees of processing.

از نظر درصد ذرات باقی‌مانده روی الک‌های مختلف بین دو فرآوری آسیاب و ورقه‌ای نمودن دانه جو تفاوت وجود داشت (جدول ۳)، به‌طوری که مجموع درصد ذرات باقی‌مانده دانه جو روی دو الک ۳/۳۵ و ۲/۳۶ میلی‌متر برای فرآوری ورقه‌ای به‌طور میانگین ۹۲/۰ درصد در مقابل ۰/۹ درصد برای فرآوری آسیاب بود. دو فرآوری از نظر درصد ذرات عبور کرده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر با همدیگر تفاوت داشتند (به‌طور میانگین ۸/۰ در مقابل ۹۹/۱ درصد به ترتیب برای ورقه‌ای نمودن جو در مقابل فرآوری آسیاب). بوشمن و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که توزیع ذرات جو فرآوری شده با شاخص‌های ۸۲ و ۷۵ درصد تنها از نظر ذرات باقی‌مانده روی الک ۳/۳۵ میلی‌متر با هم تفاوت داشتند (۶). اهمیت فرآوری مناسب دانه جو جهت استفاده در جیره گاوهای شیری توسط محققان دیگری نیز

1- Steam-rolled barley

گزارش شده است (۱۳، ۱۹ و ۲۱). نتایج این مطالعه نشان داد که فرآوری سبب تغییر اندازه ذرات و ساختار دانه‌های جو گشته و آسیاب در مقایسه با ورقه نمودن با بخار به‌طور گسترده‌تری سبب تغییر اندازه ذرات و توزیع آن‌ها روی الک‌ها می‌گردد. این تغییرات به‌دلیل ماهیت متفاوت فرآیندها و متغییرهای دخیل در هر یک می‌باشد. چگالی و ضخامت تیمارهای جو ورقه شده با بخار متأثر از زمان بخاردهی و تنظیمات غلطک متفاوت بودند (جدول ۳). افزایش وسعت فرآوری (کاهش شاخص فرآوری)، سبب کاهش ضخامت ورقه (از ۱/۵ به ۱ میلی‌متر) و چگالی جو ورقه شده با بخار (از ۳۹۰ به ۱۸۰ گرم بر لیتر) گشت. افزایش درجه فرآوری جو ورقه شده با بخار سبب سوق درصد ذرات باقی‌مانده از روی الک ۲/۳۶ میلی‌متر به روی الک ۳/۳۵ میلی‌متر شد. افزایش زمان بخارهی از ۳۵، ۴۵ به ۵۵ دقیقه و کاهش فاصله بین غلطک‌ها از ۰/۴ به ۰/۳ میلی‌متر (در مقایسه گروهی فاصله غلطک‌ها)، به‌طور میانگین سبب افزایش درصد ذرات باقی‌مانده روی دو الک بالایی (۸۱/۳ در مقابل ۹۷/۸ درصد) و کاهش بخش عبور کرده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر (۱۸/۷ در مقابل ۲/۲) درصد گردید. در تطابق با نتایج این آزمایش، در مطالعه یانگ و همکاران (۲۰۰۰) نیز با کاهش شاخص فرآوری، نسبت ماده خشک باقی‌مانده روی دو الک بالایی ۹۸/۵، ۹۸/۶، ۹۸/۴ و ۹۶/۷ درصد به‌ترتیب برای جو غلطک خورده با بخار به‌صورت زبر، متوسط، متوسط- نرم و نرم گزارش شده است (۲۸). ذرات کوچک عبور کرده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر، با کاهش شاخص فرآوری جو متغیر و از ۱/۶ تا ۳/۴ درصد گزارش شده است (۲۸). به‌نظر می‌رسد تفاوت زیاد بین شاخص فرآوری جو از نظر عددی در مطالعه یاد شده با مطالعه کنونی (تفاوت در وسعت فرآوری)، سبب تفاوت در درصد ذرات عبور کرده از الک ۲/۳۶ میلی‌متر شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش وسعت فرآوری جو ورقه شده با بخار سبب افت چگالی آن به‌میزان بیشتری می‌شد و نسبت ماده خشک باقی‌مانده روی الک ۳/۳۵ میلی‌متر با افزایش وسعت فرآوری (کاهش ضخامت ورقه و کاهش شاخص فرآوری) افزایش می‌یافت. در نتیجه چگالی دانه جو ورقه شده با بخار، اندازه ذرات و توزیع آن‌ها بسته به ضخامت ورقه و چگالی ابتدایی غله و متغیرهای دخیل در این فرآیند، متفاوت خواهد بود.

جدول ۳- توزیع ذرات دانه جو آسیاب (شاهد) و ورقه شده با بخار با شاخص‌های[1] مختلف فرآوری.

Table 2. Characteristics of ground (control) and steam-flaked barley with various processing indexes[1].

فراسنجه Item	شاهد Control	جو ورقه شده با بخار دارای شاخص‌های مختلف[2] فرآوری (درصد) Steam-flaked barley with various[2] processing indexes					
		SFB57	SFB50	SFB42	SFB41	SFB34	SFB26
		ماده خشک باقی‌مانده روی الک (درصد) Dry matter retained on top of sieve (%)					
		زمان بخاردهی (دقیقه) Steaming duration (min.)					
		35	45	55	35	45	55
		فاصله غلطک (میلی‌متر) Roller distance (mm)					
		0.4			0.3		
الک ۳/۳۵ میلی‌متر 3.35 mm	0.2	74.4	81.6	90.0	92.9	94.0	95.1
الک ۲/۳۶ میلی‌متر 2.36 mm	0.7	6.9	5.6	3.0	2.7	3.2	2.7
الک ۱/۱۸ میلی‌متر 1.18 mm	23.2	9.2	7.8	4.0	2.4	2.0	1.1
الک ۰/۶ میلی‌متر 0.6 mm	33.5	6.8	3.7	2.3	1.3	0.5	0.3
الک <۰/۶ میلی‌متر <0.6 mm	42.4	2.7	1.3	0.7	0.7	0.3	0.8
میانگین طول هندسی (میلی‌متر) Geometric length mean (mm)	0.9	6.0	6.8	7.7	8.4	8.4	8.5
انحراف استاندارد (میلی‌متر) Standard deviation (mm)	2.0	2.1	1.8	1.6	1.3	1.4	1.5

[1] شاخص فرآوری برابر با چگالی جو بعد از فرآوری به چگالی آن قبل از فرآوری است (۲۸)

[1] Processing index is the volume weight of the barley after processing, expressed as a percentage of its volume weight before processing (28).

[2] SFB57، SFB50، SFB42، SFB41، SFB34 و SFB26 برابر جو ورقه شده با بخار با درجات مختلف فرآوری است

[2] SFB57, SFB50, SFB42, SFB41, SFB34 and SFB26 are steam-flaked barley (SFB) with different degrees of processing.

فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری: فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۱$) تحت تأثیر فرآوری قرار گرفتند (جداول ۴ و ۵). آسیاب کردن جو در مقایسه با ورقه نمودن با بخار سبب افزایش

درصد ناپدیدی ماده خشک (شکل ۱) و آلی (شکل ۲)، افزایش بخش سریع تجزیه (۲۸/۶ در مقابل ۲۱/۶ درصد)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۱۰ در مقابل ۰/۰۵ در ساعت)، تجزیه‌پذیری مؤثر (۶۰/۴ در مقابل ۴۷/۵ درصد) و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۵۱/۷ در مقابل ۵۶/۰ درصد) و غیرقابل تجزیه (۱۹/۷ در مقابل ۲۲/۵) ماده خشک و افزایش بخش سریع تجزیه (۲۸/۳ در مقابل ۲۱/۴ درصد)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۱۰ در مقابل ۰/۰۵ در ساعت)، تجزیه‌پذیری مؤثر (۶۰/۶ در مقابل ۴۷/۶ درصد) و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۵۲/۶ در مقابل ۵۶/۵ درصد) و غیر قابل تجزیه (۱۹/۱ در مقابل ۲۲/۱) ماده آلی دانه جو گردید. در صنعت خوراک دام به‌خوبی مشخص شده است که وسعت فرآوری دانه جو می‌تواند به‌منظور تنظیم نرخ گوارش آن در شکمبه مورد استفاده قرار گیرد (۲۸). باقری و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر سه سطح فاصله بین غلطک‌ها در فرآوری ورقه‌ای نمودن با بخار بر ارزش غذایی و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دانه جو در گاوهای هلشتاین نتایج مشابه‌ای را گزارش نمودند (۵). ماده آلی قابل هضم دانه جو ورقه شده با بخار در مقایسه با جو آسیاب شده، تف داده یا فرآوری شده با تکنیک میکروویو[1] کمتر گزارش شده است (۱۷). مشابه با نتایج این آزمایش، کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک جو ورقه شده با بخار در مقایسه با جو آسیاب شده گزارش شده است (۸ و ۱۲). تغییر اندازه ذرات و ساختار دانه‌های غلات به‌واسطه فرآوری می‌تواند سبب تغییر دسترسی به نشاسته و پروتئین، خصوصیات تخمیری شکمبه، نرخ ماندگاری در شکمبه، دسترسی به منابع کربوهیدراتی و به‌طور مهمتر تغییر مکان گوارش گردد (۱۲). بنابراین، نوع فرآوری عاملی مهم و تأثیرگذار بر درصد ناپدیدی ماده خشک و آلی دانه جو و نتیجتاً فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری این غله است.

1- Microwave

جدول ۴- تأثیر روش فرآوری بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو آسیاب شده (شاهد) در مقایسه با ورقه شده با بخار.

Table 4. Effect of processing method on dry matter degradability fractions of ground barley (control) versus steam-flaked barley.

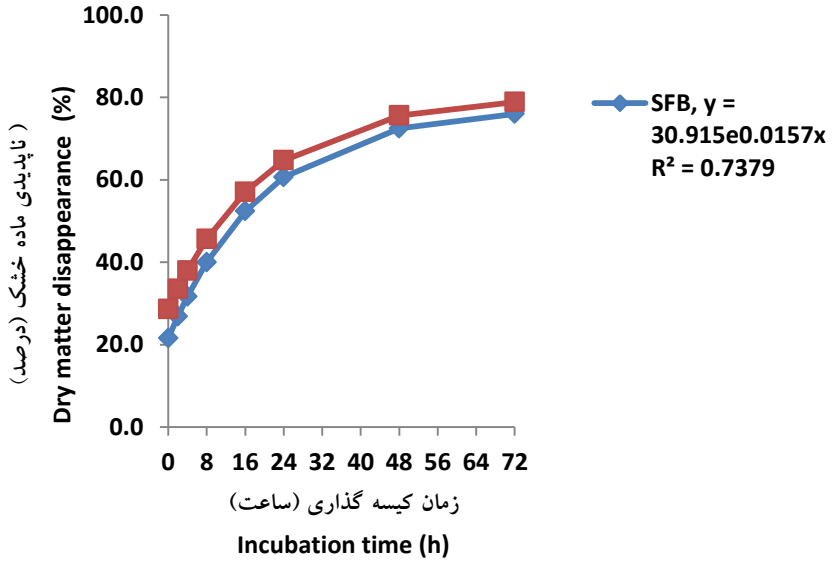
سطح احتمال P-Value	اشتباه استاندارد Standard error	جو ورقه شده با بخار Steam-flaked barley	شاهد Control	فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (درصد) Degradability fractions (%)
<0.01	0.220	21.6[b]	28.6[a]	بخش سریع تجزیه Washable fraction
<0.01	0.268	56.0[a]	51.7[b]	بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری Potentially degradable fraction
<0.01	0.106	22.5[a]	19.7[b]	بخش غیرقابل تجزیه Undegradable fraction
<0.01	0.006	0.05[b]	0.10[a]	نرخ تجزیه‌پذیری در ساعت Degradation rate (per hour)
<0.01	0.595	47.5 [b]	60.4[a]	تجزیه‌پذیری مؤثر[۱] Effective degradability[1]

[۱] نرخ عبور شکمبه‌ای= ۰/۰۶ در ساعت در نظر گرفته شد.

[1]Rumen outflow rate (*kp*) assumed to be 0.06/h.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

Different letters within row show significant differences at 1% level.



شکل ۱- درصد ناپدیدی ماده خشک دانه جو آسیاب شده در مقایسه با ورقه شده با بخار.

Figure 1. Dry matter disappearance (%) of ground barley (GB) compared to steam-flaked barley (SFB).

جدول ۵- تأثیر روش فرآوری بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده آلی دانه جو آسیاب شده (شاهد) در مقایسه با ورقه شده با بخار.

Table 4. Effect of processing method on organic matter degradability fractions of ground barley (control) versus steam-flaked barley.

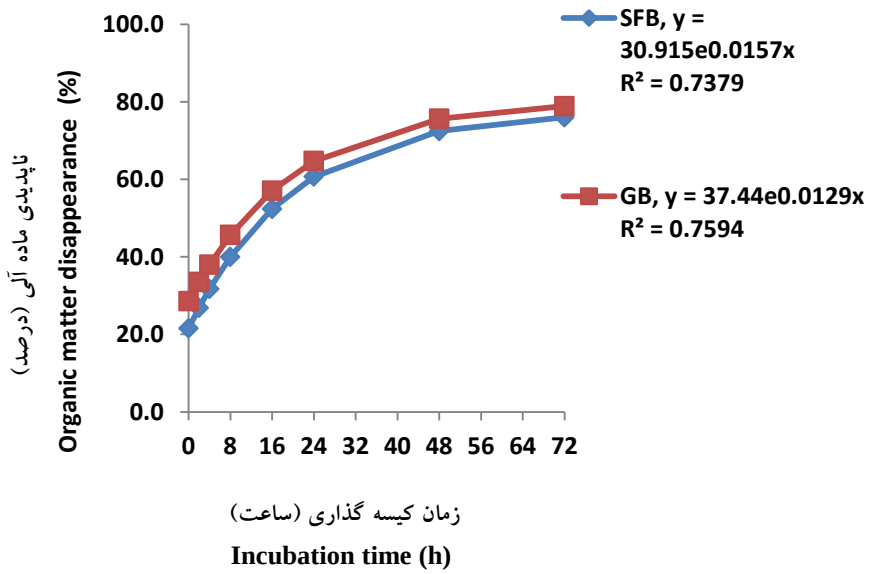
سطح احتمال P-Value	اشتباه استاندارد Standard error	جو ورقه شده با بخار Steam-flaked barley	شاهد Control	فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (درصد) Degradability fractions (%)
<0.01	0.142	21.4[b]	28.3[a]	بخش سریع تجزیه Washable fraction
<0.01	0.128	56.5[a]	52.6[b]	بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری Potentially degradable fraction
<0.01	0.113	22.1[a]	19.1[b]	بخش غیرقابل تجزیه Undegradable fraction
<0.01	0.006	0.05[b]	0.10[a]	نرخ تجزیه‌پذیری در ساعت Degradation rate (per hour)
<0.01	0.741	47.6 [b]	60.6[a]	تجزیه‌پذیری مؤثر[۱] Effective degradability[1]

[۱] نرخ عبور شکمبه‌ای= ۰/۰۶ در ساعت در نظر گرفته شد.

[1]Rumen outflow rate (*kp*) assumed to be 0.06/h.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

Different letters within row show significant differences at 1% level.



شکل ۲- درصد ناپدیدی ماده آلی دانه جو آسیاب شده در مقایسه با ورقه شده با بخار.

Figure 2. Organic matter disappearance (%) of ground barley (GB) compared to steam-flaked barley (SFB).

درصد ناپدیدی ماده خشک و آلی دانه جو (P<۰/۰۱) و به‌دنبال آن‌ها تمامی فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری دانه جو (P<۰/۰۵) تحت تأثیر زمان بخارهی، فاصله بین غلطک‌ها و اثر متقابل این دو (به استثنای نرخ تجزیه‌پذیری) قرار گرفتند (جداول ۶ و ۷). افزایش زمان بخاردهی از ۳۵، ۴۵، به ۵۵ دقیقه و کاهش فاصله غلطک از ۰/۴ به ۰/۳ میلی‌متر (مقایسه گروهی) به‌طور متوسط سبب کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۶۲/۶ در مقابل ۴۹/۴) و افزایش بخش سریع تجزیه (۱۷/۸ در مقابل ۲۵/۳)، بخش غیرقابل تجزیه (۱۹/۷ در مقابل ۲۵/۳)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۰۵ در مقابل ۰/۰۶ در ساعت) و تجزیه‌پذیری مؤثر (۴۴/۱ در مقابل ۵۰/۹) ماده خشک و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری (۶۲/۹ در مقابل ۵۰/۱) و افزایش بخش سریع تجزیه (۱۷/۷ در مقابل ۲۵/۱)، بخش غیرقابل تجزیه (۱۹/۵ در مقابل ۲۴/۹)، نرخ تجزیه‌پذیری (۰/۰۵ در مقابل ۰/۰۶ در ساعت) و تجزیه‌پذیری مؤثر (۴۴/۲ در مقابل ۵۱/۰) ماده آلی جو ورقه شده با بخار شد (P<۰/۰۵). افزایش بخش سریع تجزیه، تجزیه‌پذیری مؤثر و کاهش بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری در نتیجه افزایش وسعت فرآوری جو گزارش شده است (۲۸) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. در آزمایش دیگری به‌منظور بررسی اثر فرآوری دقیق دانه جو (تأثیر فاصله بین غلطک‌ها) بر عملکرد گاوهای شیری، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها برای صفات عملکردی، خصوصیات تخمیری شکمبه و قابلیت هضم ماده مغذی مشاهده نشد (۲۰). کوئینگ و همکاران (۲۰۰۳) گزارش نمودند که افزایش درجه فرآوری غله سبب افزایش هضم شکمبه‌ای ماده آلی و نشاسته می‌گردد (۱۱). این پاسخ متأثر از درجه فرآوری غله و ضخامت آن پس از فرآوری است (۳۰). قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده آلی با کاهش چگالی (در نتیجه افزایش وسعت فرآوری) به‌طور خطی افزایش یافت که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد (۳۱). احمد و همکاران (۲۰۱۰) در آزمایشی به‌منظور مقایسه سه بار تنظیم فاصله بین غلطک‌ها با فواصل ۱/۰۰۰، ۱/۱۹۴ و ۱/۴۷۸ میلی‌متری (پس از هر بار تنظیم جو را به‌صورت خشک غلطک[1] زدند و سپس همه نمونه‌های غلطک خورده را بر حسب نسبت باقی‌مانده روی الک‌های ۴، ۶ و ۷ میلی‌متری قبل از غلطک زدن برای ایجاد یک نمونه واحد مخلوط نمودند)، در مقایسه با یکبار تنظیم غلطک بر قابلیت هضم نشاسته جو خشک غلطک خورده، افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر نشاسته در شکمبه را با چندین بار تنظیم فاصله بین غلطک‌ها مشاهده نمودند (۱). بنابراین، زمان بخاردهی،

1- Dry-rolled

تنظیمات غلطک و اثر متقابل این دو تعیین کننده درصد ناپدیدی ماده خشک، آلی و در نتیجه تجزیه‌پذیری دانه جو ورقه شده با بخار می‌باشند، چراکه عوامل یاد شده در تعیین چگالی و ضخامت جو فرآوری شده دخیل می‌باشند.

جدول ۶- تأثیر فاصله غلطک و زمان بخاردهی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو ورقه شده با بخار.

Table 5. Effect of roller distance and steaming duration on dry matter degradability fractions steam-flaked barley.

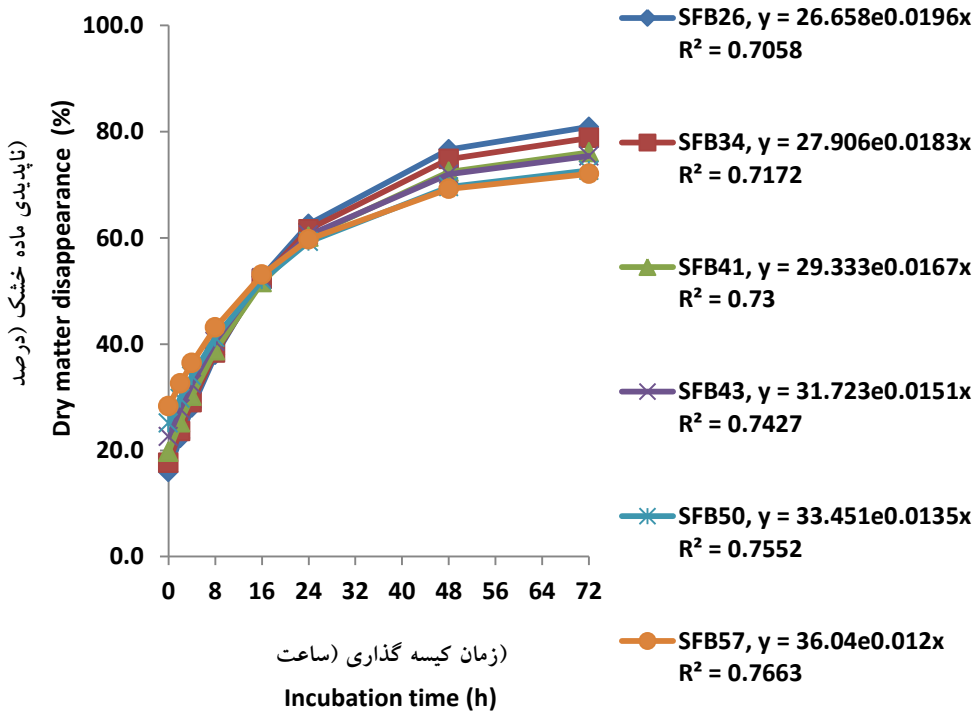
فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (درصد) Degradability fractions (%)	زمان بخاردهی (دقیقه) Steaming duration (min.)						اشتباه استاندارد Standard error	سطح احتمال P-Value			
	فاصله غلطک (میلی‌متر) Roller distance (mm)										
	0.4			0.3							
	35	45	55	35	45	55		زمان بخاردهی Steaming duration	فاصله غلطک Roller distance	فاصله غلطک × Roller distance × Steaming duration	زمان بخاردهی ×
بخش سریع تجزیه Washable fraction	15.9^{f}	17.7^{e}	19.7^{d}	22.6^{c}	25.1^{b}	28.3^{a}	0.290	<0.01	<0.01		<0.01
بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری Potentially degradable fraction	66.8^{a}	62.9^{b}	58.0^{c}	54.3^{d}	48.9^{e}	45.0^{f}	0.453	<0.01	<0.01		0.04
بخش غیرقابل تجزیه Undegradable fraction	17.3^{d}	19.5^{c}	22.3^{b}	23.1^{b}	26.0^{a}	26.7^{a}	0.375	<0.01	<0.01		<0.01
نرخ تجزیه‌پذیری در ساعت Degradation rate (per hour)	0.04^{d}	0.05^{cd}	0.05^{c}	0.06^{b}	0.06^{ab}	0.07^{a}	0.003	<0.01	<0.01		0.62
تجزیه‌پذیری مؤثر[1] Effective degradability[1]	41.2^{d}	45.4^{c}	45.8^{c}	49.7^{b}	50.3^{b}	52.6^{a}	0.814	<0.01	<0.01		<0.01

[1] نرخ عبور شکمبه‌ای= ۰/۰۶ در ساعت در نظر گرفته شد.

[1] Rumen outflow rate (*kp*) assumed to be 0.06/h.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters within row show significant differences at 5% level.



شکل ۳- درصد ناپدیدی ماده خشک دانه جو ورقه شده با بخار با شاخص‌های مختلف فرآوری (درصد).

Figure 3. Dry matter disappearance (%) of steam-flaked barley (SFB) with various processing indexes (%).

جدول ۷- تأثیر فاصله غلطک و زمان بخاردهی بر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده آلی دانه جو ورقه شده با بخار.

Table 5. Effect of roller distance and steaming duration on organic matter degradability fractions of steam-flaked barley.

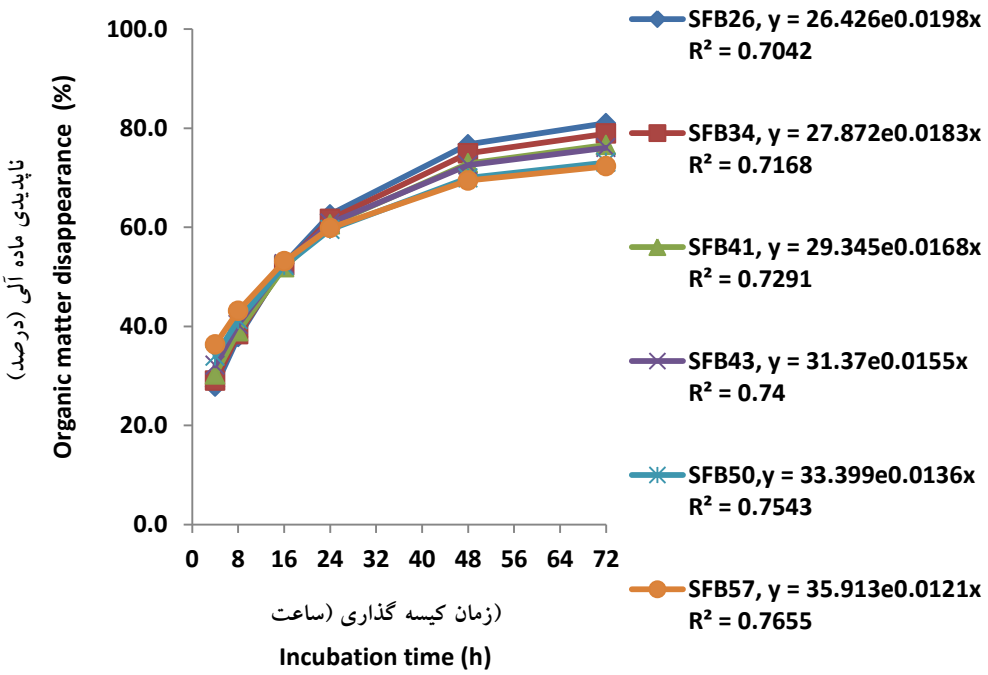
فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری (درصد) Degradability fractions (%)	زمان بخاردهی (دقیقه) Steaming duration (min.)						اشتباه استاندارد Standard error	سطح احتمال P-Value		
	فاصله غلطک (میلی‌متر) Roller distance (mm)									
	55	45	35	55	45	35		زمان بخاردهی Steaming duration	فاصله غلطک Roller distance	زمان بخاردهی × فاصله غلطک Steaming duration × Roller distance
	0.3			0.4						
بخش سریع تجزیه Washable fraction	28.1[a]	25.0[b]	22.1[c]	19.7[d]	17.6[e]	15.7[f]	0.187	<0.01	<0.01	<0.01
بخش با پتانسیل تجزیه‌پذیری Potentially degradable fraction	45.4[f]	49.5[e]	55.5[d]	58.5[c]	63.0[b]	67.2[a]	0.271	<0.01	<0.01	0.01
بخش غیرقابل تجزیه Undegradable fraction	26.5[a]	25.6[a]	22.5[b]	21.8[b]	19.4[c]	17.2[d]	0.282	<0.01	<0.01	0.04
نرخ تجزیه‌پذیری در ساعت Degradation rate (per hour)	0.07[a]	0.06[ab]	0.06[b]	0.05[c]	0.05[cd]	0.04[d]	0.002	<0.01	<0.01	0.62
تجزیه‌پذیری موثر[۱] Effective degradability[1]	52.7[a]	50.4[b]	49.8[b]	46.0[c]	45.4[c]	41.1[d]	0.478	<0.01	<0.01	<0.01

[۱] نرخ عبور شکمبه‌ای= ۰/۰۶ در ساعت در نظر گرفته شد.

[1] Rumen outflow rate (*kp*) assumed to be 0.06/h.

حروف متفاوت در هر ردیف بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

Different letters within row show significant differences at 5% level.



شکل ۴- درصد ناپدیدی ماده آلی دانه جو ورقه شده با بخار با شاخص‌های مختلف فرآوری (درصد).

Figure 4. Organic matter disappearance (%) of steam-flaked barley (SFB) with various processing indexes (%).

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های دانه جو فرآوری شده بسته به نوع فرآوری متفاوت و در مورد ورقه‌ای کردن با بخار متأثر از متغیرهای تعیین کننده درجه فرآوری از قبیل زمان بخاردهی، فاصله بین غلطک‌ها و اثر متقابل این دو خواهد بود. نوع و وسعت فرآوری جو از جمله عوامل مهم تعیین کننده فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و آلی و احتمالاً نشاسته (درصد قابل توجهی از ماده خشک و آلی جو را نشاسته تشکیل می‌دهد) می‌باشند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که آسیاب کردن در مقایسه با ورقه نمودن جو با بخار سبب افزایش درصد ناپدیدی و افزایش تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و آلی در شکمبه می‌گردد. زمان بخاردهی و تنظیمات غلطک دو متغیر مهم و دخیل در فرآیند ورقه‌ای نمودن غلات با بخار می‌باشند که با بهینه نمودن آن‌ها می‌توان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و آلی جو را مدیریت نمود. تیمار جو ورقه شده با بخار دارای چگالی ۳۹۰ گرم بر لیتر، تحت بخار قرار گرفته به

مدت ۳۵ دقیقه و تولید شده با فاصله غلطک ۰/۴ میلی‌متر (SFB57) در میان تیمارهای جو ورقه شده با بخار با شاخص‌های مختلف فرآوری دارای کمترین نرخ تجزیه‌پذیری در ساعت و درنتیجه حداقل تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک و آلی در شکمبه بود که به‌نظر می‌رسد بهترین تیمار این آزمایش جهت تغذیه به گاوهای هلشتاین و به‌ویژه در سطوح بالا با توجه به ماهیت غلات سهل‌التخمیری مانند دانه جو باشد. به‌منظور بهینه نمودن فرآوری ورقه‌ای کردن دانه جو با بخار با توجه به متغیرهای دخیل در فرآیند (زمان بخاردهی، تنظیمات غلطک، فشار بخار و درصد رطوبت غله هنگام عبور از میان غلطک‌ها و اثرات متقابل احتمالی این عوامل) مطالعات بیشتر و گسترده‌تری برای گاوهای هلشتاین در شرایط متفاوت فیزیولوژیک پیشنهاد می‌گردد.

سپاسگزاری

مؤلفین این مقاله بر خود لازم می‌دانند از همکاری صمیمانه کارخانه خوراک دام چاودانه (شهرضا، اصفهان) به‌منظور فرآوری غلات، نیروی انسانی مزرعه آموزشی- تحقیقاتی لورک دانشگاه صنعتی اصفهان و مشاوره فنی آقایان پروفسور ریچارد زین (دانشگاه کالیفرنیا، آمریکا)، پروفسور لاری چیس (دانشگاه کرنل، آمریکا) و دکتر پدرام رضامند (دانشگاه آیداهو، آمریکا) طی انجام آزمایشات مربوط به رساله دکتری تشکر و قدردانی نمایند. همچنین مشاوره آماری آقایان دکتر یان دایکسترا، دکتر دی جونگ لیون و دکتر بایسا هتیو (دانشگاه وخنینگن، هلند) جهت تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها شایسته تقدیر است.

منابع

1. Ahmad, M., Gibb, D., McAllister, T., Yang, W., Helm, J., Zijlstra, R., and Oba, M. 2010. Adjusting roller settings based on kernel size increased ruminal starch digestibility of dry-rolled barley grain in cattle. Can. J. Anim. Sci. 90: 275-278.
2. Alvarado, C., Anrique, R., and Navarrete, S. 2009. Effect of including extruded, rolled or ground corn in dairy cow diets based on direct cut grass silage. Chil. J. Agric. Res. 69: 356-365.
3. American Society of Agricultural Engineers. 1992. Method of determining and expressing particle size of chopped forage materials by screening. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
4. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis, (15th Ed). Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.

5. Baghery, N., Amanlou, H., and Dehghan-banadaky, M. 2012. Effect of extent of steam flake processing on the nutritional value and rumen degradability of barley in Holstein cows. 5th Congress of Iranian animal sciences. Isfahan, Iran. Pp: 930-934. (In Persian)
6. Beauchemin, K.A., Yang, W.Z., and Rode, L.M. 2001. Effects of barley grain processing on the site and extent of digestion of beef feedlot finishing diets. J. Anim. Sci. 79: 1925-1936.
7. Bengochea, W., Lardy, G., Bauer, M., and Soto-Navarro, S. 2005. Effect of grain processing degree on intake, digestion, ruminal fermentation, and performance characteristics of steers fed medium-concentrate growing diets. J. Anim. Sci. 83: 2815-2825.
8. Fiems, L., Cottyn, B., Boucque, C.V., Vanacker, J., and Buysse, F. 1990. Effect of grain processing on in sacco digestibility and degradability in the rumen. Arch. Anim. Nutr. 40: 713-721.
9. Grimson, R.E., Weisenburger, R.D., Basarab, J.A., and Stilbom, R.P. 1987. Effects of barley volume-weight and processing method on feedlot performance of finishing steers. Can. J. Anim. Sci., 67: 43-53.
10. Hatew, B., Podesta, S., Van Laar, H., Pellikaan, W., Ellis, J., Dijkstra, J., and Bannink, A. 2015. Effects of dietary starch content and rate of fermentation on methane production in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 98: 486-499.
11. Koenig, K., Beauchemin, K., and Rode, L. 2003. Effect of grain processing and silage on microbial protein synthesis and nutrient digestibility in beef cattle fed barley-based diets. J. Anim. Sci. 81: 1057-1067.
12. Malcolm, K., and Kiesling, H. 1993. Dry matter disappearance and gelatinization of grains as influenced by processing and conditioning. Anim. Feed Sci. Technol. 40: 321-330.
13. McGregor, G., Oba, M., Dehghan-Banadaky, M., and Corbett, R. 2007. Extent of processing of barley grain did not affect productivity of lactating dairy cows. Anim. Feed Sci. Technol. 138: 272-284.
14. NRC, 2001: Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC.
15. Orskov, E.R., and McDonald, I. 1979. Estimation of protein degradation in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. 92: 499–503.
16. Owens, F.N., Zinn, R.A., and Kim, Y.K. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. J. Anim. Sci. 63: 1634-1648.
17. Parand, E., and Taghizadeh, A. 2009. Examination of digestibility of processed barley grain with different methods, using gas production technique with two sources of inocola. Iranian Journal of Animal Science. 20: 2.1-13. (In Persian)
18. Plascencia A., Calderon, J.F., De Peters, E.J., Lopez-Soto, M.A., Vega, M., and Zinn, R.A. 1998. Influence of processing on the feeding value of barley for lactating cows. Proceedings. Western Section. Amer. Soc. Anim. Sci., Vol. 49: 257-263.

19. Sadri, H., Ghorbani, G., Alikhani, M., Babaei, M., and Nikkhah, A. 2007. Ground, dry-rolled and steam-processed barley grain for midlactation Holstein cows. Anim. Feed Sci. Technol. 138: 195-204.
20. Schlau, N., Duineveld, L., Yang, W.Z., McAllister, T.A., and Oba, M. 2013. Precision processing barley grain did not affect productivity of lactating dairy cows. Can. J. Anim. Sci. 93: 261-268.
21. Soltani, A., Ghorbani, G., Alikhani, M., Samie, A., and Nikkhah, A. 2009. Ground versus steam-rolled barley grain for lactating cows: A clarification into conventional beliefs. J. Dairy Sci. 92: 3299-3305.
22. Theurer, C.B. 1986. Grain processing effects on starch utilisation by ruminants. J. Anim. Sci. 63: 1649-1662.
23. Theurer, C.B., Huber, J.T., Delgado-Elorduy, A., and Wanderley, R. 1999. Invited review: summary of steam-flaking corn or sorghum grain for lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 82: 9.1950-1959.
24. Van Soest, P.V., Robertson, J., and Lewis, B. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. J. Dairy Sci. 74: 3583-3597.
25. Wang, Y., and McAllister, T. 2000. Grain processing for ruminants: Latest technologies, Proc. 21st West. Nutr. Conf., Winnipeg, MB, Canada, Pp: 39-55.
26. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Farr, B.I., and Rode, L.M. 1997. Comparison of barley, hull-less barley, and corn in the concentrate of dairy cows. J. Dairy Sci. 80: 2885-2895.
27. Yang, W.Z., Oba, M., and McAllister, T.A. 2013. Quality and precision processing of barley grain affected intake and digestibility of dry matter in feedlot steers. Can. J. Anim. Sci. 93: 251-260.
28. Yang, W., Beauchemin, K., and Rode, L. 2000. Effects of barley grain processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. J. Dairy Sci. 83: 554-568.
29. Zinn, R. 1993. Influence of processing on the comparative feeding value of barley for feedlot cattle. J. Anim.Sci. 71: 3-10.
30. Zinn, R. 1990. Influence of steaming time on site of digestion of flaked corn in steers. J. Anim. Sci. 68: 776-781.
31. Zinn, R., and Barajas, R. 1997. Influence of flake density on the comparative feeding value of a barley-corn blend for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 75: 904-909.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Ruminant Research, Vol. 3(4), 2016
http://ejrr.gau.ac.ir

Effects of processing method, steaming duration and roller setting distance on ruminal degradability of barley grain

***Kh. Safaei[1], Gh.R. Ghorbani[2], M. Alikhani[3], A. Sadeghi Sefidmazgi[4], W.Z. Yang[5] and F. Mohammadi[6]**

[1]Ph.D. Student, [2]Professor, [3]Associate Prof., [4]Assistant Prof., and [6]M.Sc. Student, Dept. of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, [5]Professor, Agriculture and Agri-Food Canada, Lethbridge Alberta Canada

Received: 12/26/2015; Accepted: 03/14/2016

Abstract

Background and objectives: Whole barley kernel because of its intact pericarp is resistant to bacterial attachment in the rumen and digestion by ruminants. Therfore, barley processing is required to make its endosperm, encased within indigestible pericarp and hull layers, accessible to the microbial population in the rumen. This study was carried out to evaluate the effects of processing method (grinding vs. steam flaking) using completely randomized design and to investigate the impacts of steaming duration, roller setting, and interaction between steaming duration and roller setting on ruminal degradability of barley grain dry and organic matter in a 3 x 2 completely randomized factorial design.

Materials and methods: Five grams (DM basis) of processed barley, ground barley using a hammer mill with a standard screen size of 3 mm (GB) or steam-flaked barley (SFB) using 3 steaming times including of 35, 45 or 55 min. and 2 roller setting distances of 0.3 or 0.4 mm for each steaming time, were weighed into bags (10 × 20 cm) made of polyester (pore size, 50 μm). Triplicate nylon bags were placed in the rumen of a non-lactating Holstein dairy cow for 0, 2, 4, 8, 16, 24, and 48 h, respectively, for each sample. The incubation was repeated three times. Residues of dry matter (DM) and organic matter (OM) per incubation time were analyzed using SAS software.

Results: Processing method changed the density of GB (616 g/L), SFB (285 g/L on average) compared to whole barley grain density (684 g/L). Increasing the extent

*Corresponding author: kh.safaei@gmail.com

of barley flaking decreased the density from 390 to 180 g/L, and kernel thickness from 1.5 to 1.0 mm. Grinding of barley versus steam-flaking on average increased DM and OM disappearance (%) and raised (P<0.01) the washable fraction (28.6 vs. 21.6%), degradation rate of potentially degradable fraction (0.10 vs. 0.05/h), and effective degradability (60.4 vs. 47.5%); whereas it reduced (P<0.01) the potentially degradable fraction (51.7 vs. 56.0%), and undegradable fraction (19.7 vs. 22.5%) of DM and increased (P<0.01) the washable fraction (28.3 vs. 21.4%), degradation rate of potentially degradable fraction (0.10 vs. 0.05/h), and effective degradability (60.6 vs. 47.6%); whereas it reduced (P<0.01) the potentially degradable fraction (52.6 vs. 56.5%), and undegradable fraction (19.1 vs. 22.1%) of OM (P<0.01). Increasing the steaming time and decreasing the distance of roller setting (to comparison the distance of rollers, 0.4 vs. 0.3 mm) on average increased DM and OM disappearance (%) but decreased the potentially degradable fraction (62.6 vs. 49.4%), and increased the washable fraction (17.8 vs. 25.3%), undegradable fraction (19.7 vs. 25.3%), degradation rate of potentially degradable fraction (0.05 vs. 0.06/h), and effective degradability (44.1 vs. 50.9%) of DM and decreased the potentially degradable fraction (62.9 vs. 50.1%), and increased the washable fraction (17.7 vs. 25.1%), undegradable fraction (19.5 vs. 24.9%), degradation rate of potentially degradable fraction (0.05 vs. 0.06/h), and effective degradability (44.2 vs. 51.0%) of OM for SFB (P<0.05).

Conclusion: Results of this study showed that processing method could change barley grain density, particle size and its distribution on sieves. Grinding versus flaking increased the effective degradability of grain DM and OM. Ruminal DM and OM degradability of barley grain could be manipulated by varying the duration of steaming and the distance of roller setting.

Keywords: Barley grain, Grinding, Non-lactating cow, In situ ruminal degradability, Steam-flaking