



اثر پولکی کردن با بخار با شرایط متفاوت بر تجزیه پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه جو در گاوهای هلشتاین

نغمه باقری^۱، حمید امانلو^۲، مهدی دهقان بنادکی^۳، حمیدرضا میرزائی الموتی^۴، حامد خلیلوندی

بهروزیار^{۵*}

- ۱- دانشجوی دکتری تغذیه دام، گروه علوم دامی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران
- ۲- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
- ۳- استاد گروه علوم دامی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- ۴- دانشیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان
- ۵- استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۰۷ - تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۲۹)

چکیده

اثر پولکی کردن با بخار با شرایط مختلف، بر تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه جو در گاوهای هلشتاین مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. فرآوری‌های مورد استفاده شامل دو سطح فشار بخار (۳ و ۵ بار)، سه سطح دما (۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) و سه سطح فاصله غلتک (کم، متوسط، زیاد) بودند. مقادیر تجزیه‌پذیری با استفاده از روش کیسه‌های نایلونی با استفاده از سه رأس گاو هلشتاین فیستولدار تعیین شد. میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام در اثر پولکی کردن با بخار در نمونه فرآوری شده در مقایسه با نمونه شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد ($P < 0/05$). افزایش فشار، دما و کاهش فاصله غلتک در اکثر ساعت‌های انکوباسیون، سبب کاهش معنی‌دار تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام شد ($P < 0/05$). در اثر فرآوری، میزان بخش تند تجزیه شونده (a) ماده خشک و پروتئین خام در نمونه فرآوری شده در مقایسه با شاهد کاهش یافت. کاهش معنی‌داری، در بخش کند تجزیه شونده (b) ماده خشک و پروتئین نمونه فرآوری شده در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شد ($P < 0/05$). علاوه بر اثر کاهشی فرآوری پولکی کردن با بخار بر میزان تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام دانه جو، افزایش فشار، دما و کاهش فاصله غلتک به طور معنی‌داری میزان تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام را در شکمبه کاهش داد ($P < 0/05$). با توجه به اثر کاهنده پولکی کردن با بخار بر میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام، این فرآیند می‌تواند خطر تجزیه‌پذیری بالای دانه جو و اسیدوز شکمبه‌ای را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: اسیدوز، فرآوری، گاو هلشتاین، نشاسته

مقدمه

مختلفی با کارایی و اهداف متفاوت به منظور فرآوری دانه غلات از جمله دانه جو مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dehghan- Banadaky *et al.*, 2007) که فرآوری‌های فیزیکی و فرآیندهای فیزیکی در مجاورت بخار همانند پولکی کردن با بخار و غلتک زدن با بخار از آن جمله هستند. شواهد حاکی از آن است که طی فرآوری با بخار استحکام پیوند بین نشاسته با لیپید و نشاسته با پروتئین افزایش یافته و منجر به کاهش میزان تجزیه‌پذیری اندوسپرم دانه جو در شکمبه می‌شود (Ljokjel *et al.*, 2003). به‌علاوه، ذرات درشت‌تری در اثر فرآوری با بخار تولید می‌شوند که در مجموع سبب کاهش میزان تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه می‌شوند (Tothi *et al.*, 2003) واکنش‌های شیمیایی که طی فرآوری‌های همراه با حرارت اتفاق می‌افتند را می‌توان دلیل اصلی کاهش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای دانه جو دانست (Prestlokken, 1999). با وجود اطلاعات پژوهشی مناسب در ارتباط با فرآوری برخی از دانه‌های غلات از جمله دانه ذرت، اطلاعات بسیار اندکی در ارتباط با میزان و شاخصه‌های مناسب عمل‌آوری دانه جو در تغذیه گاو شیری در دسترس بوده (Dewhurs *et al.*, 2000) و پژوهش‌های اندکی در ارتباط با اثر روش‌های مختلف فرآوری با بخار در ارتباط با دانه جو انجام شده است. هدف این مطالعه ارزیابی و مقایسه اثر سطوح مختلف دما، فشار و فاصله غلتک (شدت فرآوری) طی فرآوری دانه جو با بخار بر میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام دانه جو در شکمبه گاوهای هلشتاین است.

مواد و روش‌ها

جو مورد استفاده در این پژوهش رقم والفجر بود. کیفیت و ارزش غذایی دانه جو در جدول ۱ ارائه شده است. فرآوری دانه جو در کارخانه آرماز واقع در شهرستان کرج انجام شد. دانه جو به مدت ۴۰ دقیقه در داخل محفظه‌ای عمودی شکل و استیل برج پخت در معرض بخار قرار گرفت تا میزان رطوبت آن به حدود ۱۸ تا ۲۰ درصد برسد و بلافاصله از بین غلتک‌هایی با قطر ۴۶ سانتی‌متر که به طور هم‌زمان در حال گردش بودند عبور داده شد. در این پژوهش در مجموع دو سطح فشار بخار ۳ و ۵ بار، ۳ سطح دمای ستون پخت ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ درجه سانتیگراد و ۳

محدودیت در مصرف خوراک و دریافت انرژی از راه خوراک مصرفی یکی از مهم‌ترین چالش‌های گاوهای شیری پرتولید بوده و خواهد بود (Oba and Allen, 2000). دانه‌های مختلف غلات به خصوص دانه جو به عنوان منبع غالب تامین انرژی در جیره گاوهای شیری در اغلب نقاط دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما سرعت بالای تجزیه‌پذیری نشاسته دانه جو در شکمبه سبب کاهش pH شکمبه شده (Emmanuel *et al.*, 2008) و با توجه به ضرورت حفظ pH شکمبه در مقادیر بالاتر از ۵/۸ برای فعالیت‌های میکروبی و جلوگیری از اسیدوز تحت حاد شکمبه‌ای، می‌تواند محدودیت بزرگی در زمینه استفاده از مقادیر بالای دانه جو در جیره گاوهای شیری پرتولید ایجاد نماید (Zebeli *et al.*, 2006). با توجه به افزایش احتمال ابتلا به انواع ناهنجاری‌های متابولیکی همانند وقوع لنگش، آسبه‌های کبدی و ابتلا به اسیدوز تحت حاد (Ametaj *et al.*, 2005)، فرآوری دانه جو به منظور کاهش تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه می‌تواند اهمیت فراوانی در مدیریت تغذیه‌ای و سلامت گاوهای شیری پرتولید بخصوص در اوایل شیردهی داشته باشد. از طرف دیگر بالا بودن نرخ تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه جو در شکمبه، علاوه بر کاهش ارزش غذایی پروتئین دانه جو، در کنار سایر عوامل جیره‌ای همانند استفاده از کنجاله‌ها به عنوان منابع پروتئینی، می‌تواند زمینه‌ساز بروز مشکلات باروری برای دام‌های تازه‌زا، پرتولید و آلودگی‌های زیست محیطی در اثر دفع مقادیر بالای نیتروژن به محیط شود. مطالعات نشان‌دهنده اثر مثبت فرآوری غلات بر میزان خوش‌خوراکی، قابلیت هضم، ارزش غذایی و مقدار مصرف آن‌ها به واسطه تغییرات ایجاد شده در ساختمان فیزیکی و ترکیبات شیمیایی است (Boyles *et al.*, 2005). گزارش‌ها نشان‌دهنده اثر مثبت فرآوری غلات بر عملکرد دام به دلیل از بین رفتن مایکوتوکسین‌ها و بهبود ویژگی‌های مخلوط کردن غذا است (Santose *et al.*, 1997). فرآوری با بهبود دسترسی آنزیم‌ها به گرانول‌های نشاسته می‌تواند محل هضم پروتئین و نشاسته را از شکمبه به روده تغییر داده (Theurer, 1986) و در نتیجه باعث بهبود فراهمی اسیدهای آمینه و گلوکز برای متابولیسم شود (Nocek *et al.*, 1991). روش‌های

۵۰ میکرومتر که شماره‌گذاری شده بودند قرار گرفتند. سپس در داخل کیسه بزرگی به ابعاد ۲۵×۲۰ با قطر منافذ یک میلی‌متر قرار گرفتند. دو کیسه برای هر یک از زمان‌های ۲، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت در داخل شکمبه هر گاو قرار گرفت. بعد از بیرون آوردن کیسه‌ها از شکمبه، کیسه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه با آب سرد به روش دستی شسته شده تا آب شفاف از آن‌ها خارج شود (Vanzant *et al.*, 1998). به منظور تعیین تجزیه‌پذیری نمونه‌ها در زمان صفر، نمونه‌ها بدون انکوباسیون در شکمبه با استفاده از روش دستی به مدت ۲۰ دقیقه با آب ۳۹ درجه سانتیگراد شسته شدند و بعد از شست و شو در آون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. درصد تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری سریع، بخش با تجزیه‌پذیری آهسته و نرخ تجزیه‌پذیری با استفاده از نرم-افزار Neway و FitCurve و بر اساس معادله Orskov and McDonald (1979) و McDonald (1981) محاسبه شد.

اثر فرآوری پولکی کردن با بخار (شاهد در مقابل فرآوری شده) بر دانه جو با استفاده از رویه GLM نرم افزار SAS مطابق با مدل (۱) به صورت کاملاً تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مدل Y_{ij} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین کل، T_i : اثر تیمار (شاهد و پولکی کردن با بخار) و e_{ij} : اثر اشتباه آزمایشی است. از مدل (۲) (فاکتوریل) برای مقایسه اثر سطوح مختلف دما، فشار و فاصله غلتک بر دانه جو استفاده شد. در این مدل Y_{ijk} : مقدار هر مشاهده، μ : میانگین کل، P_i : اثر فشار بخار T_j : اثر دما، F_k : اثر شدت ورقه کردن، $P_i T_j$: اثر متقابل فشار و دما، $T_j F_k$: اثر متقابل شدت ورقه کردن و دما، $F_k P_i T_j$: اثر متقابل دما، شدت ورقه کردن و فشار و e_{ijk} : اثر اشتباه آزمایشی است.

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad (1)$$

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + T_j + F_k + P_i T_j + T_j F_k + P_i F_k + P_i T_j F_k + e_{ijk} \quad (2)$$

نتایج و بحث

شاخص فرآوری و آزمون وزن نمونه‌های آزمایشی در جدول ۳ نشان داده شده است. این شاخص برای توصیف کیفیت دانه غله فرآوری شده و به عنوان شاخص برای میزان فرآوری استفاده می‌شود. هر چند که بررسی خصوصیات فیزیکی فرآوری غلات مانند شاخص فرآوری و وزن حجمی، کیفیت دانه غلات را به طور کامل برای نشخوارکنندگان توصیف نمی‌کند اما یکی از شاخص‌های

سطح فاصله غلتک با عنوان‌های کم، متوسط و زیاد به عنوان فاکتورهای اصلی مورد سنجش قرار گرفت
جدول ۱- ترکیب شیمیایی دانه جو (بر اساس ماده خشک)

Table 1. Chemical Composition of Barley grain (g/kg of DM)

| Ingredient | g/kg of DM |
|---------------|------------|
| Crude Protein | 107 |
| Starch | 570 |
| NDF | 225 |
| ADF | 74 |
| Ash | 29 |

ماده خشک و خاکستر محصولات تولیدی به ترتیب با روش (AOAC 930.15 (2000) و (AOAC 942.05 (2000) و میزان پروتئین خام با استفاده از دستگاه کلدال به روش (AOAC 990602 (2000) تعیین شد. میزان نشاسته با استفاده از پرکلریک اسید و معرف آنترون (Rose *et al.*, 1991) تعیین شد.

شاخص فرآوری به عنوان شاخص عملی برای اندازه‌گیری شدت فرآوری در غلات فرآیند شده است که میزان فراهمی نشاسته را برای تجزیه میکروبی در شکمبه توصیف می‌کند. این شاخص به صورت اندازه‌گیری وزن حجم معینی (یک لیتر) از غله فرآوری شده به صورت درصدی از وزن غله فرآوری نشده محاسبه شد. در ارتباط با آزمایش وزن، وزن حجم معینی (یک لیتر) از هر نمونه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

جهت تعیین تجزیه‌پذیری از سه راس گاو شیری هلستاین غیر شیرده چند بار زایش مجهز به فیستولای شکمبه‌ای با میانگین وزنی 20 ± 68 کیلوگرم استفاده شد. در این آزمایش، تمامی گاوها با ترکیب غذایی مشابه متوازن شده بر اساس (NRC (2001) در سطح ۱۰ درصد بیشتر از نگهداری در دو وعده یکسان در ساعت ۸ صبح و ۱۸ عصر تغذیه شدند (جدول ۲). به منظور تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام از روش کیسه‌های نایلونی استاندارد شده (Vanzant *et al.*, 1998) استفاده شد. ابتدا نمونه‌ها در آون در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند، سپس با استفاده از توری با قطر منافذ ۲ میلی‌متر آسیاب شدند. ۵ گرم از هر نمونه آسیاب شده با الک با قطر منافذ ۵۰ میکرون به منظور زدودن ذرات کمتر از ۵۰ میکرون الک شده و سپس در داخل کیسه‌های پلی استر با ابعاد ۲۰×۱۰ سانتیمتر با قطر منافذ

جدول ۲- ترکیب جیره غذایی (گرم بر کیلوگرم ماده خشک)

Table 2. Composition of the diet (g/kg of DM)

| Ingredient | g/kg of dietary DM | Ingredient | g/kg of dietary DM |
|--------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| Alfalfa | 217.8 | Wheat bran | 45.3 |
| Corn | 294.9 | Rice bran | 29.5 |
| Wheat | 87.3 | Sodium | 3.2 |
| Beet pulp | 28.4 | Calcium | 4.9 |
| Barley grain | 99.8 | Dicalcium phosphate | 0.8 |
| Corn | 28.4 | Vitamin-NaCl | 3.9 |
| Wheat | 48.8 | | 1.6 |
| Canola | 69.2 | | |
| Soybean | 36.3 | | |

*Each 1 kg Contained : 5×10^5 Iu vitamin A, 10^5 Iu vitamin D, 100 mg vitamin E, 9×10^4 mg P, 5×10^4 mg Na, 19×10^3 mg Mg, 3×10^3 mg Fe, 300 mg Cu, 2×10^3 mg Mn, 3×10^3 mg Zn, 100 mg Co, 100 mg I, 1 mg Se, 3×10^3 mg Antioxidant (B.H.T). DM: dry matter

عملی و عینی برای توصیف میزان فراوری است. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که ورقه کردن به علت حجم‌تر کردن دانه سبب کاهش شاخص فراوری می‌شود. بعلاوه با کاهش فاصله غلتک شاخص فرآیند هم کاهش یافته است. کمترین شاخص فرآیند مربوط به تیماری بوده است که در فشار ۵ بار و در دمای ۹۰ درجه سانتیگراد و فاصله غلتک کم فراوری شده بود. فراوری بیش از اندازه سبب کاهش شاخص فرآیند می‌شود (Wang et al., 2003). درجه مطلوب شاخص فراوری دانه جو بین ۶۵-۷۵ درصد گزارش شده است و دانه غلتک خورده به صورت درشت با شاخص فراوری ۸۲ درصد به علت کاهش سنتز پروتئین میکروبی ناشی از تخمیر پایین شکمبه‌ای توصیه نمی‌شود (Beauchemin et al., 2001). اثرات جو خشک غلتک خورده در چهار ضخامت درشت، متوسط، متوسط-پهن و پهن با شاخص‌های ۸۲، ۷۵، ۷۰ و ۶۵ درصد بر عملکرد گاوهای شیری ارزیابی شدند و گزارش شده که حداکثر تولید شیر و بیشترین مصرف ماده خشک در شاخص فرآیند ۶۴ درصد حاصل می‌شود. هم‌چنین دانه جو درشت غلتک خورده منجر به کاهش قابلیت هضم ماده آلی و کاهش تولید شیر می‌شود و دانه پهن شده که بیش از حد فراوری شده توانایی افزایش مصرف مواد مغذی قابل هضم را ندارد (Yang et al., 2000). درجه مطلوب جو غلتک خورده با بخار برای گاوهای پرواری در حدود ۷۵ درصد است و به نظر می‌رسد شاخص فرآیند کمتر از ۷۵ درصد

سبب کاهش زمان نشخوار می‌شود (Beauchemin et al., 2001). شاخص فرآیند مطلوب دانه جو برای گاوهای پرواری در مقایسه با گاوهای شیری بیشتر بوده (Yang et al., 2000) و علت این امر را می‌توان غلظت کمتر علوفه یا الیاف موثر در جیره گاوهای پرواری دانست (Beauchemin et al., 2001). آزمون وزن در تائید شاخص فراوری نشان می‌دهد که حجم‌تر شدن دانه جو سبب کاهش وزن یک پیمانانه می‌شود.

دانه جو ورقه شده با بخار با تراکم ۳۹ کیلوگرم بر صد لیتر (PI=68%) در مقایسه با دانه جو ورقه شده با بخار با تراکم ۲۶ کیلوگرم بر صد لیتر (PI=46%) سبب بهبود مصرف ماده خشک و قابلیت هضم در کل دستگاه گوارش می‌شود (Plascencia et al., 1998). دانه جو پهن ورقه شده با بخار با شاخص فرآیند ۶۰ درصد در مقایسه با دانه جو درشت ورقه شده با بخار با شاخص فرآیند ۷۵ درصد سبب بهبود قابلیت هضم پروتئین خام در روده (۱۵ درصد) و در کل دستگاه گوارش (۸ درصد) می‌شود (Yang et al., 2004).

میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام به ترتیب در جداول ۴ و ۵ گزارش شده است. در طول مدت زمان انکوباسیون شکمبه‌ای روند رو به رشد ناپدید شدن ماده خشک و پروتئین خام را می‌توان به سپری شدن زمان تاخیر نسبت داد. میزان ناپدید شدن ماده خشک در ساعت‌های ۲، ۴، ۸، ۱۲ و ۲۴ در اثر فراوری با بخار در مقایسه با نمونه شاهد به صورت معنی‌داری (۰/۰۵ < P) کاهش یافت. هم‌چنین افزایش فشار از ۳ به ۵ بار نیز اثر معنی‌داری بر کاهش ناپدید شدن ماده خشک در ساعت‌های ۸، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ نشان داده است (P < ۰/۰۵). افت تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای در اثر افزایش فشار بخار می‌تواند با کاهش دسترسی میکروارگانیسم‌های شکمبه به مواد مغذی دانه جو، سبب جلوگیری از بروز ناهنجاری‌های متابولیکی در جیره‌های پرکنسانتره شود. دماهای مختلف مورد استفاده در فرآیند پولکی کردن، اثر معنی‌داری بر میزان تجزیه‌پذیری ماده خشک نداشتند (P > ۰/۰۵). بنابراین با توجه به عدم وجود تفاوت بین دماهای مختلف، دمای بالا از لحاظ هزینه انرژی توصیه نمی‌شود. کاهش فاصله غلتک یا به عبارتی افزایش شدت فراوری فیزیکی اثر معنی‌داری بر کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک داشت (P < ۰/۰۵).

جدول ۳- اثر فرآوری بر شاخص فرآوری و آزمون وزن

Table 3. Effect of processing on processing index and test weight

| Treatment | PI (%) | Test Weight (g) |
|--|--------|-----------------|
| P ₁ T ₁ S ₃ | 80.4 | 464.7 |
| P ₁ T ₃ S ₃ | 83.6 | 483.4 |
| P ₂ T ₁ S ₂ | 60.9 | 352.5 |
| P ₂ T ₂ S ₃ | 81.6 | 471.7 |
| P ₁ T ₂ S ₃ | 79.8 | 461.6 |
| P ₁ T ₁ S ₂ | 60.8 | 351.9 |
| P ₂ T ₂ S ₂ | 52.2 | 301.9 |
| P ₁ T ₂ S ₁ | 48.7 | 281.5 |
| P ₁ T ₃ S ₂ | 54 | 312.2 |
| P ₁ T ₂ S ₂ | 60.8 | 351.9 |
| P ₂ T ₃ S ₃ | 82.7 | 478.4 |
| P ₂ T ₁ S ₃ | 82.5 | 477.3 |
| P ₂ T ₂ S ₁ | 40.6 | 234.8 |
| P ₂ T ₃ S ₂ | 61.7 | 351.1 |
| P ₁ T ₁ S ₁ | 47.3 | 273.4 |
| P ₁ T ₃ S ₁ | 44.1 | 255.1 |
| P ₂ T ₃ S ₁ | 51.7 | 299.3 |
| P ₂ T ₁ S ₁ | 55.4 | 320.2 |
| Control | | 578 |

P₁ and P₂: 3 and 5 bars pressures, respectively; T₁, T₂ and T₃: 75, 90, and 105 centigrades, respectively; S₁, S₂ and S₃: low, medium and high interspace of roll, respectively.

میزان محتویات داخل سلولی مانند پروتئین، کربوهیدرات غیرساختمانی و ساختمانی و نحوه توزیع آنها نسبت داد. همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود در تمامی ساعت انکوباسیون شکمبه ای میزان ناپدید شدن پروتئین خام به صورت معنی داری در اثر فرآوری با بخار در مقایسه با شاهد کاهش یافته است ($P < 0.05$). کاهش تجزیه پذیری پروتئین در شکمبه را می توان به استفاده هم زمان حرارت و فشار نسبت داد که سبب خمیری شکل شدن پروتئین و در نتیجه کاهش دسترسی میکروارگانیزم ها به سطح ذرات خوراک شده و در نتیجه میزان تجزیه پذیری شکمبه ای دانه جو را کاهش داده است (Prestlokken, 1999). با توجه به این که بخش اعظم ماده خشک دانه جو را نشاسته و پروتئین تشکیل می دهد، بنابراین روند مشابهی برای تجزیه پذیری آنها قابل انتظار است. مطالعات کاهش تجزیه پذیری پروتئین سورگوم در اثر پولکی شدن با بخار را گزارش نموده اند که می تواند موجب سنتز کارآمدتر پروتئین میکروبی در شکمبه شود (Nikkhah *et al.*, 2003). در نتیجه در اثر کاهش نرخ تجزیه پذیری، میکروارگانیزم ها فرصت کافی برای استفاده کارآمدتر از نیتروژن آمونیاکی موجود در شکمبه را داشته و هم زمان با افزایش میزان کارایی سنتز پروتئین میکروبی، هدر رفت

با توجه به اثر معنی داری که فاصله غلتک و فشار بر روند تجزیه پذیری ماده خشک ایجاد کردند معنی دار بودن اثر متقابل سه عامل در ساعت های ۴ و ۸ دور از انتظار نبود. فرآوری همراه با بخار منجر به کاهش تولید ذرات بسیار ریز مواد خوراکی طی فرآوری می شود (Dehghan-Banadaky *et al.*, 2007). با توجه به این که اندازه ذرات خوراک یکی از عوامل تاثیرگذار در میزان تخمیر ماده خوراکی است (Tamminga, 1997)، کاهش اندازه ذرات با افزایش سطح دسترسی میکروارگانیزم های شکمبه برای ایجاد اتصالات میکروبی و افزایش میزان تخمیر ماده خوراکی را به همراه داشته و دارای اثر بسیار مهمی بر ناپدید شدن ماده خشک در مطالعات کیسه های نایلونی است (Galyean *et al.*, 1981). بنابراین کاهش تولید ذرات ریز حین فرآوری با بخار سبب کاهش دسترسی میکروارگانیزم های شکمبه و در نتیجه کاهش تجزیه پذیری ماده خشک دانه جو می شود. برخی از پژوهش ها حاکی از افزایش تجزیه پذیری شکمبه ای دانه جو پولکی شده با بخار است (Zinn, Plascencia *et al.*, 1998). که تفاوت نتایج با پژوهش حاضر را می توان به اختلاف بین واریته های جو مورد استفاده در پژوهش های مختلف از نظر اندازه گرانول نشاسته، ترکیبات شیمیایی و

جدول ۴- تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک دانه جو (٪) در ساعات‌های مختلف انکوباسیون
Table 4. Dry matter ruminal degradation of barley grain (%) at different incubation times

| Incubation time | 2 | 4 | 8 | 12 | 24 | 48 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Control | 43.8 ^a | 47.5 ^a | 53.1 ^a | 57.4 ^a | 66 ^a | 71.6 ^a |
| Steam flake treated | 34.4 ^b | 37.7 ^b | 43 ^b | 47.1 ^b | 55.1 ^b | 62.4 ^a |
| SEM | 2 | 1.6 | 1.7 | 2.07 | 3.06 | 4 |
| Effect of pressure (Bar) | | | | | | |
| 3 | 34.6 ^a | 38.4 ^a | 44.5 ^a | 49.2 ^a | 58.2 ^a | 66 ^a |
| 5 | 34.2 ^a | 37 ^a | 41.4 ^b | 44.9 ^b | 52 ^b | 58.8 ^b |
| SEM | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.79 | 1.2 | 1.56 |
| Effect of temperature °C | | | | | | |
| 75 | 35.1 ^a | 38.3 ^a | 43.3 ^a | 47.2 ^a | 54.2 ^a | 63 ^a |
| 90 | 32.9 ^a | 36.3 ^a | 42 ^a | 46.5 ^a | 55.3 ^a | 62.6 ^a |
| 105 | 35.4 ^a | 38.5 ^a | 43.6 ^a | 47.5 ^a | 55.2 ^a | 61.7 ^a |
| SEM ¹ | 1.06 | 0.77 | 0.75 | 0.96 | 1.47 | 1.91 |
| Effect of roll interspace | | | | | | |
| Low | 29.3 ^c | 33.5 ^c | 38.9 ^c | 43 ^c | 50.2 ^b | 56.3 ^c |
| Medium | 34.2 ^b | 37.1 ^b | 42 ^b | 43.1 ^b | 54.5 ^b | 62.4 ^b |
| High | 39.3 ^b | 42.6 ^a | 47.9 ^a | 52.1 ^a | 60.6 ^a | 68.6 ^a |
| SEM | 1.06 | 0.77 | 0.75 | 0.96 | 1.47 | 1.91 |
| Steam flake | ** | ** | ** | ** | * ³ | NS |
| Pressure | NS ² | NS | ** | ** | ** | ** |
| Temperature | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| Roll interspace | ** | ** | ** | ** ⁴ | ** | ** |
| Roll × Temperature × Pressure interspace | NS | * | * | NS | NS | NS |

1: Standard Error of Mean a, b, c, d: within each row, values with different superscripts differ at ($P < 0.05$). 2: Non-significant. 3: ($P < 0.05$). 4: ($P < 0.04$)

گزارش شده است که فرآوری با حرارت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد سبب کاهش تجزیه‌پذیری نشاسته شده و بیش‌ترین اثر محافظتی حرارت بر تجزیه‌پذیری نشاسته در دمای زیر ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بیان شده است. فرآوری با حرارت سبب دناتوره شدن پروتئین و تشکیل شکل مقاوم پروتئین نسبت به آنزیم شده (Voragen *et al.*, 1995) و با توجه به احاطه شدن نشاسته به وسیله ماتریکس پروتئینی، کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک و نشاسته را می‌توان ناشی از مقاوم شدن پروتئین در مقابل تجزیه‌پذیری دانست. کاهش فاصله غلتک در بیشتر ساعات انکوباسیون اثر معنی‌داری بر کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین و ماده خشک داشته ($P < 0.05$) و با توجه به اثر معنی‌دار هر سه عامل مورد بررسی بر روند تجزیه‌پذیری پروتئین، اثر متقابل هر سه عامل نیز در بیشتر ساعات انکوباسیون معنی‌دار بود ($P < 0.05$).

مولفه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو در جدول ۶ گزارش شده است. میزان بخش تند تجزیه‌شونده (a) در اثر فرآوری با بخار در مقایسه با شاهد کاهش یافت ($P < 0.05$). میزان بخش محلول ماده خشک به ساختار

نیترژن و انرژی در شکمبه کاهش می‌یابد (Cabrita *et al.*, 2006). گزارش‌های مشابهی مبنی بر اثر پولکی کردن با بخار بر کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام دانه جو و گندم در شکمبه وجود دارد که این کاهش را به افزایش نیترژن نامحلول در شوینده اسیدی نسبت داده‌اند (Fiems *et al.*, 1990). در مقابل برخی از پژوهش‌ها بیان‌کننده افزایش تجزیه‌پذیری نشاسته دانه ذرت در شکمبه در اثر فرآوری پولکی کردن با بخار و افزایش مولی پروپیونات و به دنبال آن کاهش مصرف خوراک است که تفاوت در نوع غله مورد استفاده و تفاوت در بین غلات در میزان نشاسته و پروتئین و سهم متفاوت آمیلوز و آمیلوپکتین در ساختار نشاسته غلات را می‌توان از دلایل احتمالی این امر برشمرد (Lemeisster *et al.*, 2004). افزایش فشار بخار و افزایش دما اثر معنی‌داری بر کاهش تجزیه‌پذیری پروتئین خام در شکمبه داشت. با توجه به اینکه اثر افزایش دما از ۷۵ به ۹۰ درجه سانتی‌گراد برجسته‌تر از افزایش دما از ۹۰ تا ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد است، استفاده از دمای بالا به دلیل افزایش هزینه‌های فرآوری و افزایش احتمال آسیب حرارتی مواد مغذی توصیه نمی‌شود. در راستای نتایج این پژوهش (2003)

جدول ۵- تجزیه پذیری شکمبه‌ای پروتئین دانه جو (٪) در ساعت‌های مختلف انکوباسیون

Table 5. Ruminal degradation of barley grain protein (%) at different incubation times

| Incubation time | 2 | 4 | 8 | 12 | 24 | 48 |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| Control | 47.4 ^a | 53.8 ^a | 64 ^a | 71.3 ^a | 83.3 ^a | 89.5 ^a |
| Steam flake treated | 23.8 ^b | 27.6 ^b | 34.5 ^b | 40.4 ^b | 54 ^b | 69.7 ^b |
| SEM | 1.17 | 1 | 1 | 1.2 | 1.6 | 1.55 |
| Effect of pressure (Bar) | | | | | | |
| 3 | 25 ^a | 28.3 ^a | 34.8 ^a | 40.4 ^a | 53.6 ^a | 69.9 ^a |
| 5 | 22.6 ^b | 26.8 ^b | 34.8 ^a | 40.3 ^a | 54.3 ^a | 69.4 ^a |
| SEM | 0.54 | 0.45 | 0.42 | 0.51 | 0.66 | 0.68 |
| Effect of temperature °C | | | | | | |
| 75 | 26.8 ^a | 30.2 ^a | 36.7 ^a | 42.1 ^a | 54.3 ^{ab} | 71.6 ^a |
| 90 | 21.6 ^b | 25.3 ^c | 32.1 ^c | 38.3 ^b | 52.1 ^b | 69 ^b |
| 105 | 23 ^b | 27.2 ^b | 34.6 ^b | 41 ^a | 55.2 ^a | 68.5 ^b |
| SEM ¹ | 0.67 | 0.55 | 0.51 | 0.63 | 0.8 | 0.8 |
| Effect of roll interspace | | | | | | |
| Low | 19.3 ^a | 23.2 ^c | 30.8 ^c | 37.3 ^c | 51.9 ^b | 69.2 ^a |
| Medium | 23.8 ^b | 27.3 ^b | 33.7 ^b | 39.2 ^b | 52.8 ^b | 69.4 ^a |
| High | 28.1 ^a | 32.1 ^a | 39 ^a | 44.7 ^a | 57.1 ^a | 70.5 ^a |
| SEM | 0.63 | 0.51 | 0.51 | 0.63 | 0.80 | 0.83 |
| Steam flake | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| Pressure | ** | * | NS | NS | NS | NS |
| Temperature | ** | ** | ** | ** | * | * |
| Roll interspace | ** | ** | ** | ** | ** | NS |
| Roll × Temperature × Pressure interspace | ** | ** | ** | ** | NS | * |

1: Standard Error of Mean a, b, c, d: within each row, values with different superscripts differ at ($P < 0.05$). 2: Non-significant. 3: ($P < 0.05$). 4: ($P < 0.04$)

میزان بخش تند تجزیه‌شونده کاهش یافت ($P < 0.05$)، ولی با توجه به عدم مشاهده تفاوت معنی‌دار بین فرآوری در دماهای ۹۰ و ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، دمای بالا از نظر هزینه انرژی توصیه نمی‌شود. برخی مطالعات گزارش کرده‌اند که فرآوری حرارتی در دماهای مختلف سبب کاهش بخش تند تجزیه‌شونده در مقایسه با نمونه شاهد می‌شود، اما افزایش دما روند یکنواختی را در کاهش بخش تند تجزیه‌شونده ندارد (McNiven *et al.*, 1994). در اثر کاهش فاصله غلتک یا افزایش شدت فرآوری بخش تند تجزیه‌شونده کاهش یافت ($P < 0.05$)، اما بین فاصله غلتک کم و متوسط تفاوتی مشاهده نشد. در پژوهش‌هایی مشابه در اثر افزایش شدت فرآوری میزان بخش تند تجزیه‌شونده افزایش یافت که این تفاوت احتمالاً ناشی از مدت زمان بخار دادن و میزان رطوبت است (Yang *et al.*, 2000; Beauchemin *et al.*, 2001). اثر متقابل دما و فشار، فشار و فاصله غلتک، دما و فاصله غلتک و اثر متقابل هر سه عامل معنی‌دار بود که می‌توان به اثر گذاری معنی‌دار دما و فاصله غلتک نسبت داد. میزان بخش کند تجزیه‌شونده (b) در اثر فرآوری با بخار در مقایسه با شاهد کاهش یافت ($P < 0.05$). این انتظار وجود داشت که با کاهش بخش

فیزیکی و شیمیایی دانه، میزان الیاف دیواره سلولی، ترکیبات پلی فنلی و میزان مواد معدنی بستگی دارد (Van Soest *et al.*, 1991)، به طوری که با افزایش ترکیباتی مانند لیگنین، تانن متراکم و دیواره سلولی بخش محلول ماده خشک کاهش می‌یابد. افزایش میزان الیاف خام در اثر فرآوری پولکی کردن با بخار در مقایسه با دانه فرآوری نشده (Fimes *et al.*, 1990)، می‌تواند یکی از دلایل کاهش بخش محلول ماده خشک دانه جو در اثر پولکی کردن با بخار باشد. علاوه بر این فرآوری با بخار سبب تولید ذرات درشت‌تری شده (Nikkhah and Ghorbani, 2003; Ljokjel *et al.*, 2003a,b) و بخش تند تجزیه‌شونده را کاهش می‌دهد. بخش محلول به عنوان بخش سریع تجزیه‌شونده به وسیله باکتری‌ها در شکمبه سبب کاهش pH شکمبه می‌شود. بنابراین کاهش این بخش در اثر پولکی کردن با بخار می‌تواند خطرات ناشی از تجزیه بالای دانه جو در شکمبه و وقوع اسیدوز را کاهش دهد. افزایش فشار بخار در فرآیند عمل‌آوری اثر معنی‌داری بر میزان بخش تند تجزیه‌شونده نداشته و با توجه به تلاش جهت کاهش هزینه‌های فرآوری، فشار پایین ترجیح داده می‌شود. در اثر افزایش دما به ۹۰ درجه سانتی‌گراد

حرارت سبب تشکیل کمپلکس بین نشاسته و پروتئین می‌شود که منجر به کاهش بخش قابل حل پروتئین می‌شود (Allen *et al.*, 2003). بنابراین معنی‌دار بودن اثر متقابل بیشتر ناشی از اثر دما است. مطالعات بسیاری کاهش بخش تند تجزیه‌شونده پروتئین را در اثر فرآوری با حرارت گزارش کرده‌اند (MaCniven *et al.*, 1994; Prestlokken, 1999). نتایج مطالعه حاضر در راستای نتایج مطالعه نیکخواه و همکاران (۱۳۸۲) است که کاهش بخش محلول پروتئین دانه سورگوم در اثر پولکی شدن با بخار را گزارش کردند و کاهش این بخش را به بزرگ بودن اندازه ذرات (الک دو میلی‌متری) نسبت دادند. بین تیمار شاهد و تیمار فرآوری شده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. افزایش فشار سبب افزایش معنی‌دار در بخش b شد ($P < 0/05$). اثر دما بر بخش کند تجزیه‌شونده معنی‌دار نبود ولی از نظر کمی سبب افزایش در این بخش شد که این افزایش می‌تواند به دلیل حرارت دیدن شبکه پروتئینی محلول و نامحلول شدن بخش تند تجزیه‌شونده باشد. کاهش فاصله غلتک به صورت معنی‌دار سبب افزایش بخش کند تجزیه‌شونده شد ($P < 0/05$). اثر متقابل فشار و دما، اثر فشار و فاصله غلتک، دما و فاصله غلتک به صورت معنی‌دار اثرگذار بودند ($P < 0/05$). اثرگذاری این عوامل را می‌توان به اثر کاهش فاصله غلتک نسبت داد. با کاهش بخش تند تجزیه‌شونده در اثر کاهش فاصله غلتک افزایش بخش کند تجزیه‌شونده قابل انتظار بود. نرخ تجزیه‌پذیری بخش b در اثر پولکی کردن با بخار به صورت معنی‌دار کاهش یافت ($P < 0/05$). افزایش فشار بخار و افزایش شدت فرآوری به صورت معنی‌داری سبب کاهش نرخ تجزیه‌پذیری شد ($P < 0/05$). تجزیه‌پذیری موثر در سرعت‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت تحت تأثیر فرآوری، افزایش دما و کاهش فاصله غلتک به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0/05$). دنا توره شدن و باز شدن تاخوردگی رشته پروتئینی به وسیله حرارت می‌تواند باعث شکسته شدن پیوندهایی شود که ساختار سه بعدی پروتئین را پایدار کرده و اگر این فرآیند منجر به آزاد شدن اسیدهای آمینه هیدروفوب شود موجب کاهش حلالیت و هضم پروتئین خواهد شد (Voregan *et al.*, 1995). بنابراین خواص آب دوستی و آب‌گریزی یک پروتئین در حین فرآوری می‌تواند باعث تغییر در خصوصیات هضمی آن شود. این نظریه به وسیله گزارش

تند تجزیه‌شونده با روند افزایشی در بخش کند تجزیه‌شونده رو به رو شویم، اما کاهش این بخش می‌تواند ناشی از واکنش میلارد و غیرقابل دسترس شدن بخشی از آن باشد. افزایش دما، فشار بخار و کاهش فاصله غلتک اثر معنی‌داری بر بخش کند تجزیه‌شونده نداشته است، اما همراهی تغییرات فیزیکی ناشی از شدت فرآوری با تغییر شیمیایی ناشی از دما و فشار ممکن است سبب ایجاد اثر معنی‌دار سه عامل با هم باشد ($P < 0/05$). اثر هیچ یک از عوامل بر بخش c به عنوان نرخ تجزیه‌پذیری بخش کند تجزیه‌شونده معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). میزان تجزیه‌پذیری موثر در سرعت عبور ۲، ۵ و ۸ درصد در ساعت در اثر فرآوری با بخار به صورت معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0/05$). افزایش فشار بخار از ۳ به ۵ بار و افزایش دما از ۷۵ به ۹۰ درجه سانتیگراد و کاهش فاصله غلتک از زیاد به کم، سبب کاهش تجزیه‌پذیری موثر شد ($P < 0/05$). اثر متقابل فشار و دما در سرعت‌های عبور ۵ و ۸ درصد در ساعت و اثر متقابل هر سه عامل در سرعت عبور ۲ درصد در ساعت معنی‌دار بود که روند اثر گذاری ترکیب عوامل بخصوص دما و فشار را همانطور که ذکر شده است می‌توان به تغییر در بخش‌های مختلف از جمله خمیری شدن شکل پروتئین نسبت دهیم ($P < 0/05$). کاهش تجزیه‌پذیری موثر را می‌توان به کاهش تولید ذرات بسیار ریز طی فرآوری نسبت داد (Dehghan *et al.*, 2007) که می‌تواند سبب کاهش دسترسی میکروارگانیسیم‌ها شکمبه و در نتیجه کاهش تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو شود.

مولفه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین دانه جو در جدول ۷ ارائه شده است. بخش تند تجزیه‌شونده پروتئین (a) نمونه پولکی شده با بخار در مقایسه با نمونه کنترل به صورت معنی‌دار کاهش یافت ($P < 0/05$). افزایش فشار اثر معنی‌داری ایجاد نکرد ($P > 0/05$). افزایش دما به صورت معنی‌دار سبب کاهش بخش a شد ($P < 0/05$). کاهش فاصله غلتک نیز به صورت معنی‌دار سبب کاهش بخش تند تجزیه‌شونده شد. بین فاصله غلتک کم و متوسط و دمای ۹۰ و ۱۰۵ درجه سانتیگراد تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، بنابراین شدت فرآوری زیاد، فشار ۵ بار و دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد توصیه نمی‌شود. اثر متقابل دما و فاصله غلتک و همچنین اثر متقابل فشار و دما معنی‌دار بود ($P < 0/05$) که می‌توان به اثر دما نسبت داد.

جدول ۶- مولفه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانه جو

Table 6. Degradability components of barley grain dry matter

| Incubation time | a ¹ (%) | b ² (%) | c ³ (%) | ED ₁ ⁴ (%/h) | ED ₂ ⁵ (%/h) | ED ₃ ⁶ (%/h) |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Control grain | 42.3 ^a | 49.5 ^a | 0.07 ^a | 77.3 ^a | 66.9 ^a | 61.1 ^a |
| Steam flake treated | 38.8 ^b | 34 ^b | 0.05 ^a | 59.7 ^b | 51.6 ^b | 47.8 ^b |
| SEM | 1.12 | 4 | 0.013 | 2.21 | 1.6 | 1.3 |
| Effect of pressure (Bar) | | | | | | |
| 3 | 39.1 ^a | 35.2 ^a | 0.06 ^a | 61.3 ^a | 53.1 ^a | 49.3 ^a |
| 5 | 38.4 ^a | 32.7 ^a | 0.05 ^a | 58.1 ^b | 50 ^b | 46.3 ^b |
| SEM | 0.53 | 1.75 | 0.006 | 0.78 | 0.56 | 0.48 |
| Effect of temperature °C | | | | | | |
| 75 | 40.6 ^a | 35.2 ^a | 0.06 ^a | 60.1 ^{ab} | 52.4 ^a | 48.8 ^a |
| 90 | 38.4 ^b | 31.3 ^a | 0.05 ^a | 57.8 ^b | 49.7 ^b | 45.8 ^b |
| 105 | 37.3 ^b | 35.5 ^a | 0.05 ^a | 61.3 ^a | 52.5 ^a | 48.7 ^a |
| SEM ¹⁰ | 0.65 | 2.14 | 0.007 | 0.96 | 0.69 | 0.59 |
| Effect of roll interspace | | | | | | |
| Low | 35.4 ^b | 34.8 ^a | 0.06 ^a | 56.7 ^b | 48.3 ^c | 43.7 ^c |
| Medium | 37.2 ^b | 34.3 ^a | 0.04 ^a | 58.6 ^b | 50.72 ^b | 47.4 ^b |
| High | 43.7 ^a | 32.8 ^a | 0.05 ^a | 63.9 ^a | 56 ^a | 52.3 ^a |
| SEM | 0.65 | 2.14 | 0.007 | 0.96 | 0.69 | 0.59 |
| Steam flake | * | ** | NS | ** | ** | ** |
| Pressure | NS ⁷ | NS | NS | ** | ** | ** |
| Temperature | ** | NS | NS | * ⁸ | ** ⁹ | ** |
| Roll interspace | ** | NS | NS | ** | ** | ** |
| Temperature × Pressure | ** | NS | NS | NS | * | * |
| Steam flake × Pressure | ** | NS | * | NS | NS | NS |
| Steam flake × Temperature | ** | NS | NS | NS | NS | NS |
| Roll interspace × Temperature × Pressure | ** | * | NS | ** | NS | NS |

1: rapidly degraded fraction. 2: slowly degraded fraction. 3: rate of degradation. 4, 5 and 6: effective degradability (0.02, 0.05 and 0.08 h⁻¹). 7: Non-significant. 8: (P<0.05). 9: (P< 0.04). 10: Standard Error of Mean

می‌شود (Ljokjel *et al.*, 2003a,b; Nikkhahand and Ghorbani, 2003 ترکیب نشاسته و لیپید با تورم گرانول و ژلاتینه شدن رابطه منفی دارد (Oliva *et al.*, 2002). ترکیب نشاسته-لیپید سبب کاهش ارتباط آنزیم و سوبسترا می‌شود (Sivhus *et al.*, 2003)، در نتیجه تجزیه‌پذیری موثر نشاسته و به تبع آن ماده خشک در شکمبه کاهش می‌یابد. کاهش تجزیه‌پذیری موثر نشاسته و ماده خشک را می‌توان در ارتباط با تشکیل دکستران‌ها و یا سرد شدن نشاسته ژلاتینه شده که سبب پیوند مجدد بین پیوندهای از هم گسیخته می‌شود نسبت داد که سبب کریستالینه شدن نشاسته و مقاوم شدن آن در برابر هضم می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

کینتیک و مولفه‌های تجزیه‌پذیری و تجزیه‌پذیری موثر ماده خشک و پروتئین خام دانه جو در سرعت‌های مختلف عبور از شکمبه در اثر فرآوری پولکی کردن با بخار در نمونه‌های فرآوری شده در مقایسه با نمونه شاهد کاهش یافت. در نهایت با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی کینتیک

Prestlokken (1999) مبنی بر تجزیه‌پذیری کمتر اسیدهای آمینه هیدروفوب مثل لوسین، ایزولوسین، فنیل آلانین، متیونین و والین تجزیه‌پذیری نسبت به اسیدهای آمینه هیدروفیل مثل هیستیدین، آرژنین، لایزین، سیستین و گلوتامیک اسید نیز تأیید می‌شود. فرآوری حرارتی سبب شکل‌گیری باندها بین اسیدهای آمینه و قندها و کاهش قندها می‌شود (واکنش میلارد) که احتمالاً سبب مقاوم شدن پروتئین در مقابل تجزیه در شکمبه می‌شود. عوامل گوناگونی روی هضم و تجزیه‌پذیری نشاسته در شکمبه اثرگذار هستند. با توجه به این‌که نشاسته بخش زیادی از ترکیب ماده خشک دانه جو را تشکیل می‌دهد، این عوامل را می‌توان مهمترین عوامل تأثیرگذار بر کینتیک و فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک دانست. ترکیبات غیر نشاسته‌ای زیادی مانند چربی و پروتئین در ساختار گرانول‌های نشاسته مشاهده می‌شوند که یک عامل بازدارنده در فرآیند هضم و تجزیه-پذیری محسوب می‌شوند. در اثر فرآوری طولانی مدت با بخار پیوند پروتئین-نشاسته و نشاسته-لیپید محکم‌تر

تشکر و قدردانی

از شرکت آرماس به دلیل فرآوری دانه جو و تأمین بخشی از هزینه های پژوهش قدردانی می‌شود.

و مولفه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام دانه جو، می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه هدف از پولکی کردن دانه با بخار کاهش تجزیه‌پذیری مواد مغذی دانه جو در شکمبه و افزایش عبور آن‌ها به روده باشد، بهترین تیمارهای مورد ارزیابی فشار بخار پائین، دمای متوسط و فاصله غلتک متوسط است.

جدول ۷- مولفه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین دانه جو

Table 7. Degradability components of barley grain protein

| Incubation time | a ¹ (%) | b ² (%) | c ³ (%) | ED ₁ ⁴ (%/h) | ED ₂ ⁵ (%/h) h) | ED ₃ ⁶ (%/h) |
|--|--------------------|--------------------|--------------------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Control grain | 45.1 ^a | 46.6 ^a | 0.008 ^a | 81.4 ^a | 71.7 ^a | 65.4 ^a |
| Steam flake treated | 35.5 ^b | 50.6 ^a | 0.03 ^a | 61 ^a | 48.4 ^b | 41.1 ^b |
| SEM | 1.3 | 3.67 | 0.006 | 1.09 | 1.17 | 1.01 |
| Effect of pressure (Bar) | | | | | | |
| 3 | 35.8 ^a | 48.7 ^b | 0.03 ^a | 61.5 ^a | 48.4 ^a | 43.2 ^a |
| 5 | 35.2 ^a | 54.5 ^a | 0.02 ^b | 60.4 ^a | 48.4 ^a | 42.9 ^a |
| SEM | 0.62 | 1.8 | 0.002 | 0.46 | 0.51 | 0.43 |
| Effect of temperature °C | | | | | | |
| 75 | 37.2 ^a | 49.8 ^a | 0.03 ^a | 62.4 ^a | 50.2 ^a | 44.4 ^a |
| 90 | 35.2 ^{ab} | 52 ^a | 0.03 ^a | 60.6 ^b | 48.4 ^{ab} | 43.4 ^a |
| 105 | 34 ^b | 52 ^a | 0.03 ^a | 60 ^b | 46.6 ^b | 41.5 ^b |
| SEM ¹⁰ | 0.76 | 1.2 | 0.003 | 0.57 | 0.63 | 0.53 |
| Effect of roll interspace | | | | | | |
| Low | 32.1 ^b | 55.2 ^a | 0.03 ^{ab} | 59.3 ^b | 46 ^b | 39.7 ^c |
| Medium | 33 ^b | 57 ^a | 0.02 ^b | 61 ^{ab} | 47.5 ^b | 42.3 ^b |
| High | 41.3 ^a | 42.6 ^b | 0.04 ^a | 62.6 ^a | 51.7 ^a | 47.3 ^a |
| SEM | 0.76 | 2.1 | 0.003 | 0.57 | 0.63 | 0.53 |
| Steam flake | ** | NS ⁷ | ** | ** | ** | ** |
| Pressure | NS | * | * | NS | NS | NS |
| Temperature | * | NS | NS | * ⁸ | ** ⁹ | ** |
| Roll interspace | ** | ** | * | ** | ** | ** |
| Temperature × Pressure | ** | * | NS | NS | NS | ** |
| Steam flake × Pressure | NS | ** | * | ** | NS | NS |
| Steam flake × Temperature | ** | ** | * | ** | NS | NS |
| Pressure × Temperature × Roll interspace | NS | NS | NS | ** | NS | NS |

1: rapidly degraded fraction. 2: slowly degraded fraction. 3: rate of degradation. 4, 5 and 6: effective degradability (0.02, 0.05 and 0.08 h⁻¹). 7: Non-significant. 8: (P<0.05). 9: (P<0.04). 10: Standard Error of Mean

فهرست منابع

نیکخواه ا، علی خانی م. و امانلو ح. ۱۳۸۲. تاثیر روش‌های فرآوری بر تجزیه‌پذیری دانه‌های جو و سورگوم جاریبی در شکمبه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۷ (۱): ۱۷۷-۱۶۹.

نیکخواه ع. و امانلو ح. ۱۳۸۱. مواد مغذی مورد نیاز گاوهای شیری. (ترجمه). چاپ اول. انتشارات دانشگاه زنجان.

Ametaj B. N., Bradford B. G., Bobe G., Nafikov R. A., Lu Y., Young J. W. and Beitz D. C. 2005. Strong relationships between mediators of the acute phase response and fatty liver in dairy cows. Canadian Journal of Animal Science, 85: 165-175.

AOAC international. 2000. Official methods of analysis of the AOAC international. 17th edition. AOAC international., Gaithersburg, MD, USA.

- Boyles S. L., Anderson V. L. and Koch K. B. 2004. Feeding barley to cattle. Ohio state university extension. [Http://beef.Osu.Edu/library/barley.html](http://beef.Osu.Edu/library/barley.html).
- Dehghan_Banadaky M., Corbett R. and Oba M. 2007. Effects of barley grain processing on productivity of cattle. *Journal of Feed Science and Technology*, 137: 1-24.
- Dewhurs R. J., Davies D. R. and Merry R. J. 2000. Microbial protein supply from the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, 85: 1-21.
- Emmanuel D. G. V., Dunn S. M. and Ametaj B. N. 2008. Feeding High Proportions of Barley Grain Stimulates an Inflammatory Response in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 91: 606-614.
- Fiems L. O., Cottyn B. G., Boucque C. V., Vanacker J. M. and Buysee F. X. 1990. Effect of grain processing on in sacco digestibility and degradability in the rumen. *Archives of Animal Nutrition*, 40: 713-721.
- Galyean M. L., Wagner D. G. and Owens F. N. 1981. Dry-matter and starch disappearance of corn and sorghum as influenced by particle size and processing. *Journal of Dairy Science*, 64: 1804-1812.
- Iqbal S., Zebeli Q., Mazzolari A., Bertoni G., Dunn S. M., Yang W. Z. and Ametaj B. N. 2009. Feeding barley grain steeped in lactic acid modulates rumen fermentation patterns and increases milk fat content in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 92: 6023-6032.
- Lesmeister K. and Heinrichs A. J. 2004. Effect of corn processing on growth characteristics, rumen development, and rumen parameters in neonatal dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 87: 3439-3450.
- Ljøkjel K., Harstad O. M., Prestløkken E. and Skrede A. 2003. In situ digestibility of protein in barley grain (*Hordeum vulgare*) and peas (*Pisum sativum L.*) in dairy cows: influence of heat treatment and glucose addition. *Animal Feed Science and Technology*, 107: 87-104.
- Ljøkjel K., Harstad O. M., Prestløkken E. and Skrede A. 2003. In situ digestibility of protein in barley grain (*Hordeum vulgare*) and peas (*Pisum sativum L.*) in dairy cows: influence of heat treatment and glucose addition. *Animal Feed Science and Technology*, 107: 87-104.
- Mathison G. W. 1996. Effect of processing on the utilization of grain by cattle. *Animal Feed science and technology*, 58: 113-125.
- McNiven M. A., Weisbjerg M. R. and Hvelplund T. 1995. Influence of roasting or sodium hydroxide treatment of barley on digestion in lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 78: 1106-1115.
- Nikkhah A. and Ghorbani G. R. 2003. Effects of dry and steam processing on in situ ruminal digestion kinetics of barley grain. *Journal of Animal Science*, 81(Suppl. 1): 338. (Abstr).
- Nocek J. E. and Tamminga S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3598-3629.
- Oba M. and Allen M. S. 2003. Effects of corn grain conservation method on feeding behavior and productivity of lactating dairy cows at two dietary starch concentrations. *Journal of Dairy Science*, 86: 174-183.
- Plascencia A., Calderon J. F., DePeters 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. *Journal of Animal Science*, 87: 257-263.
- Prestløkken E. 1999. *In situ* ruminal degradation and intestinal digestibility of dry matter and protein in expanded feedstuffs. *Animal Feed Science and Technology*, 77: 1-23.
- Rose R., Rose C., Omi S. and Forry K. 1991. Starch determination by perchloric acid enzyme. Evaluation the accuracy and precision of six colorimetric methods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 39: 2-11.
- Santos F. A. P., Huber J. T., Theurer C. B., Swingle R. S., Wu. Z., Simas J. M. and Depeters E. J. 1997. Comparison of barley and sorghum grain processed at different densities for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80: 2098-2103.
- Svihus B., Uhlen A. K. and Harsted O. M. 2005. Effect of starch granule structure, associated component and processing on nutritive value of cereal starch: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 122: 303-320.
- Tamminga S. 1997. Feed processing as a means to improve feed utilisation by ruminants. Wageningen Institute of Animal Sciences, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 14 pp.
- Theurer C. B. 1986. Grain processing effects on starch utilization by ruminants. *Journal of Animal Science*, 63: 1649-1662.
- Tothi R., Lund P., Weisbjerg M. R. and Hvelplund T. 2003. Effect of expander processing on fractional rate of maize and barley starch degradation in the rumen of dairy cows estimated using rumen evacuation and *in situ* techniques. *Animal Feed Science and Technology*, 104: 71-94.
- Van Soest P. J., Robertson J. B. and Lewis B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch poly saccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597.
- Vanzant E. S., Cochran R. C. and Titgemeyer E. C. 1998. Standardization of in situ techniques for ruminant feedstuff evaluation. *Journal of Animal Science*, 86: 2717-2729.
- Voragen A. G. J., Gruppen H., Marsman G. J. P. and Mul A. J. 1995. Effect of some manufacturing technologies on chemical, physical and nutritional properties of feed. In: Garnsworthy, P.C., Cole, D.J.A. (Eds.), *Recent Advances in Animal Nutrition*. Nottingham University Press, Nottingham, pp. 93-126.

- Yang W. Z and Beauchemin K. A. 2004. Grain processing, forage- to- concentrate ratio, and forage length effect on ruminal nitrogen degradation and flows of amino acids to the duodenum. *Journal of Dairy Science*, 87: 2578- 2590.
- Yang W. Z., Beauchemin K. A. and Rode L. M. 2000. Effect of barley grain processing on extent digestion and milk production of lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 83: 554-568.
- Zebeli Q., Mansmann D., Steingass H. and Ametaj B. N. 2006. Balancing diets for physically effective fibre and ruminally degradable starch: A key to lower the risk of sub-acute rumen acidosis and improve productivity of dairy cattle. *Livestock Science*, 127: 1-10.
- Zinn R. A., Alvarez E. G., Montano M. F. and Ramirez L. E. 1996. Influence of tempering on the feeding value of rolled corn in finishing diets for feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 76: 2239-2246.



Effect of steam flaking with different process conditions on dry matter and crude protein degradability of barley grain in Holstein cows

N. Bagheri¹, H. Amanlou², M. Dehghan-Banadaky³, H. R. Mirzaei Alamouti⁴, H. Khalilvandi Behroozyar^{5*}

1. Ph.D student, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

3. Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Associate Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

5. Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Urmia, Urmia, Iran

(Received: 25-02-2017 – Accepted: 20-09-2017)

Abstract

Effects of different processing conditions in steam flaking was examined on the dry matter and crude protein degradability of barley grain in Holstein cows. This study was conducted as a factorial experiment in completely randomized design. Two levels of pressure (3 and 5 Bar), 3 levels of heating temperature (75, 90 and 105 centigrade), and three levels of the roll interspaces (low, medium and high) were used. *In situ* ruminal degradability was measured using three ruminally fistulated Holstein cows. Dry matter and crude protein degradability of processed materials were significantly decreased by steam flaking compared with untreated barley ($P<0.05$). Rumen degradability of dry matter and crude protein were decreased by increasing heat, pressure and decreasing space between rolls ($P<0.05$). The amount of immediately degraded fraction (a) of dry matter and crude protein of treated barley were decreased by steam flaking, compared with untreated barley. Significant reduction of potentially degradable fraction (b) in dry matter and crude protein were observed in treated barley ($P<0.05$). Additionally, increased pressure and heat and reduced roll interspace decreased effective degradability ($P<0.05$). According to reducing effects of steam flaking on the degradability of dry matter and crude protein, high degradability of barley grain and acidosis can be alleviated by steam flaking.

Keywords: Acidosis, Processing, Holstein cow, Starch

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