2026, 2(3): 27-34

JAER

Journal of Animal Environmental Reaserch

Journal homepage: http://www.journalaer.com

Research Article

The effect of different heating methods on chemical composition, gas production parameters and digestibility of laying hen litter

Fatemeh Fathi [1], Javad Bayat Kouhsar [*1], Farzad Ghanbari [1], Abbasali Naserian [2], Shahriar Maghsoudloo [1]

[1] *Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Gonbad Kavous University, Gonbad Kavous, Iran*

[2] *Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran*

Key Words

Laying hen litter
Heat processing
Autoclave

Abstract

Introduction: This study was conducted to investigate the effect of different heat treatment methods dry heat (at 60°C for 24 hours and 80°C for 40 minutes) and moist heat (autoclave) on the chemical composition, gas production parameters, and digestibility of laying hen manure.

Materials & Methods: The experimental treatments included: 1) dry heat at 60°C for 24 hours, 2) dry heat at 80°C for 40 minutes, and 3) moist heat using an autoclave (121°C for 15 minutes). The chemical composition, gas production parameters, and digestibility of the samples were then measured.

Results: The results showed a significant difference among treatments in terms of chemical composition (dry matter, protein, and acid-detergent insoluble ash) ($P<0.05$). The highest and lowest values for acid-insoluble ash were observed in the autoclave and 60°C treatments, respectively. Among the heat treatments, the autoclave treatment had the lowest potential and rate of gas production, while the 80°C treatment showed the highest values. There was no significant difference among treatments for the digestibility of dry matter and organic matter ($P>0.05$). The lowest values for the partitioning factor and microbial mass production were related to the autoclave treatment, and the highest values were related to the 80°C treatment ($P<0.05$).

Conclusion: Overall, the results of this study indicated that dry heat treatment methods (at 60°C and 80°C) had similar effects on the nutritional value of laying hen manure. However, autoclave treatment led to a decrease in digestibility and fermentation parameters. Therefore, the choice of the treatment method depends on the available facilities and the ultimate goal (e.g., increasing protein content versus digestibility).

Article info

* Corresponding Author's email:
javad_bayat@yahoo.com

Received: 25 March 2025
Reviewed: 9 May 2025
Revised: 2 July 2025
Accepted: 10 August 2025

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر روش‌های مختلف فرآیند حرارت بر ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم فضولات مرغ تخم‌گذار

فاطمه فتحی[۱]، جواد بیات کوهسار[۱]، فرزاد قنبری[۱]، عباسعلی ناصریان[۲]، شهریار مقصودلو[۱]*

[۱] گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران
[۲] گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

کلمات کلیدی

فضولات طیور تخم‌گذار
عمل‌آوری
اتوکلاو

چکیده

مقدمه: مطالعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف حرارت‌دهی، حرارت‌خشک (با زمان و دمای متفاوت: دمای ٦٠ درجه به‌مدت ٢٤ ساعت و دمای ٨٠ درجه به‌مدت ٤٠ دقیقه) و مرطوب (اتوکلاو) بر ترکیبات شیمیایی، مؤلفه‌های تولید گاز و قابلیت هضم فضولات طیور تخم‌گذار انجام شد.

مواد و روش‌ها: تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) عمل‌آوری با حرارت خشک با دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٢٤ ساعت، ۲) عمل‌آوری با حرارت خشک با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٠ دقیقه، ۳) عمل‌آوری با حرارت مرطوب اتوکلاو (۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه) بودند. سپس، ترکیبات شیمیایی، مؤلفه‌های تولید گاز و قابلیت هضم نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

نتایج: نتایج نشان دادند که بین تیمارها از لحاظ ترکیبات شیمیایی (ماده خشک، پروتئین، خاکستر نامحلول در شوینده اسیدی) اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P<۰/۰۵$). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار خاکستر نامحلول در اسید به‌ترتیب مربوط به تیمار عمل‌آوری شده با اتوکلاو و تیمار عمل‌آوری شده در دمای ٦٠ درجه سانتی‌گراد بود. در بین تیمارهای حرارتی، تیمار اتوکلاو کم‌ترین پتانسیل و نرخ تولید گاز را داشت، درحالی‌که تیمار حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد بالاترین مقدار را نشان داد. قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>۰/۰۵$). کم‌ترین مقدار عامل تفکیک و تولید توده میکروبی مربوط به تیمار اتوکلاو و بالاترین مقدار مربوط به تیمار حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود ($P<۰/۰۵$).

بحث و نتیجه‌گیری: به‌طورکلی، نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌های عمل‌آوری حرارتی خشک (٦٠ و ۸۰ درجه) تأثیرات مشابهی بر ارزش تغذیه‌ای فضولات طیور تخم‌گذار داشتند. هرچند، عمل‌آوری با اتوکلاو منجر به کاهش قابلیت هضم و پارامترهای تخمیری شد. بنابراین، انتخاب روش عمل‌آوری به امکانات و هدف نهایی (افزایش پروتئین یا قابلیت هضم) بستگی دارد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
javad_bayat@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۵ فروردین ۱٤۰٤
تاریخ داوری: ۱۹ اردیبهشت ۱٤۰٤
تاریخ اصلاح: ۱۱ تیر ۱٤۰٤
تاریخ پذیرش: ۱۹ مرداد ۱٤۰٤

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

مقدمه

بستر طیور یکی از منابع زیست‌توده و ضایعات کشاورزی است که سالانه در مقادیر انبوهی تولید می‌شود. کود جوجه گوشتی معمولاً ترکیبی از مواد بستری (مانند پوسته شلتوک، خاک اره یا کاه)، فضولات پرنده و خوراک ریخته‌شده است، درحالی‌که فضولات مرغ تخم‌گذار که در قفس نگه‌داری می‌شود، عمدتاً شامل مخلوطی از فضولات و پرها با رطوبت بالاتری است (۱، ۲). تولید طیور در جهان و ایران رشد چشمگیری داشته است. براساس آمارهای جهانی، ایالات متحده به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان طیور، سالانه مقادیر عظیمی بستر تولید می‌کند که با فرض تولید ۱/۱ تا ۱/۴ تن بستر به ازای هر ۱۰۰۰ پرنده، این میزان به ده‌ها میلیون تن در سال می‌رسد (۳). در ایران نیز با پرورش سالانه حدود ۹۰۰ میلیون جوجه گوشتی، تقریباً ۱/۳ میلیون تن فضولات خشک تولید می‌شود (۴). علاوه بر این، با توجه به تولید سالانه حدود ۱/۳۵ میلیون تن تخم‌مرغ، مقدار قابل‌توجهی فضولات نیز از مرغ‌های تخم‌گذار به‌دست می‌آید که این امر مدیریت صحیح این نوع از ضایعات را نیز ضروری می‌سازد. در اکثر موارد، بستر طیور به‌دلیل غنی بودن از مواد مغذی مانند نیتروژن، فسفر، کلسیم و پتاسیم، به عنوان کود آلی در زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، استفاده بی‌رویه و نامناسب از آن با مشکلات جدی زیست‌محیطی از قبیل آلودگی پاتوژنی، بوی نامطبوع، انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی آب‌های زیرزمینی همراه است (۵). به همین دلیل، بهبود مدیریت این ضایعات از طریق به‌کارگیری صحیح در تغذیه دام به‌عنوان یک راهکار پایدار مطرح شده است. فضولات حیوانات حاوی مواد مغذی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است که از خوراک هضم‌نشده و ترشحات داخلی منشأ می‌گیرد. یکی از باارزش‌ترین اجزای کود حیوانی، ترکیبات نیتروژنه آن (پروتئینی و غیرپروتئینی) است. در طیور، بخش عمده نیتروژن زائد به شکل اسیداوریک دفع می‌شود. این ترکیبات نیتروژنی غیرپروتئینی (مانند اسید اوریک، پورین‌ها و آلانتوئین) می‌توانند به خوبی توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه نشخوارکنندگان مورد استفاده قرار گرفته و به پروتئین میکروبی تبدیل شوند (۶). این فرآیند، فضولات مرغی را به یک منبع بالقوه پروتئین برای تغذیه دام تبدیل می‌کند (۷). با این حال، برای استفاده ایمن و بهینه از فضولات مرغی، روش‌های مختلف عمل‌آوری مانند حرارت‌دهی ضروری است. حرارت دادن باعث پاستوریزه شدن و از بین رفتن عوامل بیماری‌زا می‌شود و در عین‌حال می‌تواند بر ترکیبات شیمیایی و ارزش تغذیه‌ای فضولات تأثیر بگذارد (۸). مطالعات گذشته به بررسی اثرات حرارت‌دهی بر بستر طیور پرداخته‌اند (۹، ۱۰، ۱۱)، اما یک خلاء تحقیقاتی مهم در این زمینه وجود دارد. تاکنون مقایسه جامعی بین تأثیر روش‌های مختلف عمل‌آوری حرارتی (حرارت خشک با زمان و دمای متفاوت و حرارت مرطوب اتوکلاو) بر ترکیبات شیمیایی، فراسنجه‌های تولید گاز و قابلیت هضم فضولات مرغ تخم‌گذار انجام نشده است. از این‌رو، هدف از انجام این مطالعه، مقایسه تأثیر این روش‌های عمل‌آوری حرارتی به منظور تعیین بهترین روش برای بهبود ارزش تغذیه‌ای فضولات مرغ تخم‌گذار بود.

مواد و روش‌ها

تهیه و عمل‌آوری نمونه‌ها: فضولات مرغ تخم‌گذار مورد آزمایش از واحد مرغداری فردوس واقع در شهرستان گنبدکاووس تهیه شد. در این واحد مرغداری، مرغ‌ها در قفس نگه‌داری می‌شوند و بنابراین فضولات عاری از هرگونه ماده بستری بوده و تنها مخلوطی از فضولات، پر و تخم‌مرغ‌های شکسته بود. پس از انتقال فضولات به آزمایشگاه بلافاصله نمونه‌ها تحت روش‌های عمل‌آوری حرارتی خشک و مرطوب قرار گرفتند. انتخاب دماها و زمان‌های حرارتی (حرارت خشک با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه، و حرارت مرطوب اتوکلاو با دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه) براساس مطالعات قبلی با هدف از بین بردن پاتوژن‌ها و افزایش ارزش تغذیه‌ای فضولات انجام گرفت. عمل‌آوری حرارتی در سه دما انجام گرفت: ۱) عمل‌آوری حرارتی خشک با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت، ۲) عمل‌آوری حرارتی خشک با دمای ۸۰ درجه به‌مدت ۴۰ دقیقه، ۳) عمل‌آوری حرارتی مرطوب اتوکلاو (دمای ۱۲۰ درجه به‌مدت ۲۰ دقیقه). مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه برای تعیین درصد ماده خشک به‌مدت ۴۸ ساعت در آون (دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. به منظور تهیه مخلوطی یکنواخت، نمونه‌ها پس از خشک شدن با استفاده از آسیاب با توری یک میلی‌متر آسیاب شدند. ترکیبات شیمیایی شامل مقدار ماده خشک، پروتئین خام، ماده آلی و خاکستر طبق روش‌های استاندارد (۱۲)، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی براساس روش Van Soest و همکاران (۱۳) بدون استفاده از آمیلاز مقاوم به حرارت تعیین شد. میزان نیتروژن آمونیاکی نمونه‌ها با استفاده از روش فنل-هیپوکلریت تعیین گردید (۱۴). بدین منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۳۰ نانومتر جهت قرائت جذب نوری استفاده شد.

اندازه‌گیری فراسنجه‌های تولید گاز: برای انجام آزمایش تولید گاز مایع شکمبه از سه رأس گوسفند نر فیستول‌دار نژاد دالاق (۲/۵±۴۵ کیلوگرم) از بخش‌های مختلف شکمبه و قبل از وعده تغذیه صبح‌گاهی

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

جمع‌آوری شد. این حیوانات در سطح نگه‌داری با جیره حاوی ۷۰ درصد علوفه (یونجه و علوفه سیلو شده ذرت به نسبت مساوی) و ۳۰ درصد کنسانتره (جو، کنجاله تخم پنبه، سبوس و مکمل) تغذیه شدند. ذرات درشت مایع شکمبه با عبور دادن از چهار لایه پارچه متقال جدا شد. سپس مایع صاف شده شکمبه در یک بن‌ماری با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند بزاق مصنوعی مطابق روش Menke و همکاران (۱۵) تهیه و با شیرابه شکمبه با نسبت ۲:۱ مخلوط شد. سی میلی‌لیتر از این محلول به‌داخل ویال‌های شیشه‌ای حاوی ۲۰۰ میلی‌گرم نمونه (چهار تکرار در سه مرحله) ریخته شد. تولید گاز در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت انکوباسیون توسط دستگاه مبدل فشارسنج ثبت شد. حجم خالص گاز با کاستن میانگین گاز تولیدی ویال‌های بلانک از ویال‌های دارای نمونه حاصل شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک معادله Ørskov و McDonald (۱۶) $P=b\ (1-e^{-ct})$ انجام شد که در آن:

P: حجم تولید گاز از ماده خوراکی در زمان t، c: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت)، b: تولید گاز از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر) و t: مدت زمان قرار گرفتن نمونه در حمام آب گرم می‌باشد.

اسیدهای چرب کوتاه زنجیر با استفاده از معادله Makkar (۱۷)، قابلیت هضم ماده آلی طبق روش Menke و همکاران (۱۵) و انرژی قابل متابولیسم طبق روش Menke و Staingass (۱۸) تخمین زده شدند.

$OMD\ (\%) = ۱۴/۸۸ + ۰/۸۹۹\ GP + ۰/۴۵\ CP^1 + ۰/۰۶۵\ A$

$ME,\ (MJ/kg\ DM) = ۲/۲۰ + ۰/۱۳۶\ GP + ۰/۰۵۷۴\ CP^2$

$SCFA,\ (mmoL) = -۰/۰۰۴۲۵ + ۰/۰۲۲۲\ GP$

GP: تولید خالص گاز در ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به‌ازاء ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP^1: پروتئین خام (برحسب درصد)، A: مقدار خاکستر و CP^2: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) می‌باشد.

داده‌های جمع‌آوری شده در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۱۹) نسخه ۹/۱ تجزیه و تحلیل شدند.

اندازه‌گیری قابلیت هضم در شرایط برون‌تنی: اندازه‌گیری قابلیت هضم تیمارهای مختلف براساس روش کشت بسته انجام شد (۲۰). روش تهیه بزاق مصنوعی و جمع‌آوری مایع شکمبه مطابق آنچه در آزمون تولید گاز شرح داده شد، صورت گرفت. pH مخلوط بافر و مایع شکمبه توسط دستگاه pH متر الکترونیکی (مدل ۶۹۱، شرکت Metrohm) کنترل و بر روی ۶/۸ تنظیم شد. ۵۰۰ میلی‌گرم ماده خشک نمونه‌های آسیاب شده به‌همراه ۵۰ میلی‌لیتر بزاق مصنوعی و مایع شکمبه صاف شده به نسبت یک به دو در بطری‌های شیشه‌ای ریخته و پس از درپوش‌گذاری، در بن‌ماری با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. بعد از گذشت ۲۴ ساعت تمامی شیشه‌ها از بن‌ماری خارج و نمونه‌های موجود در هر ویال، با استفاده از پارچه مخصوص صاف شده و محتویات هضم نشده از فاز مایع جدا شد. سپس pH فاز مایع نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. محتویات هضم‌نشده هر ویال جمع‌آوری شده و درون کروزه‌های با وزن مشخص انتقال یافت. کروزه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با درجه‌حرارت ۶۰ درجه‌سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس قابلیت هضم ظاهری محاسبه شد. کروزه‌های حاوی محتویات هضم نشده به‌مدت ۳ ساعت در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. این کار به‌منظور تعیین مقدار خاکستر خام مواد هضم نشده موجود در کروزه‌ها و تعیین قابلیت هضم ماده آلی صورت گرفت. بازده تولید گاز (GP_{24}) به‌صورت حجم گاز تولید شده پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون تقسیم بر مقدار ماده تجزیه شده واقعی (گرم) محاسبه شد (۲۱). برای محاسبه توده میکروبی تولید شده از معادله پیشنهاد شده Blummel و Becker (۲۲) استفاده گردید:

$MCP = GP \times (PF - ۲/۲)$ تولید توده میکروبی (میلی‌گرم)

GP: میلی‌لیتر گاز تولید شده در زمان ۲۴ ساعت، PF: عامل تفکیک که به‌صورت میلی‌گرم ماده هضم شده واقعی، بخش بر میلی‌لیتر گاز تولیدی در ساعت ۲۴ انکوباسیون محاسبه شد (۲۰).

آنالیز داده‌های حاصل با رویه GLM نرم‌افزار آماری SAS (۱۹) نسخه (۹/۱) در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

نتایج

تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر ترکیب شیمیایی فضولات مرغ

تخم‌گذار: نتایج حاصل از تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر ترکیب شیمیایی فضولات مرغ تخم‌گذار در جدول ۱ نشان‌داده شده است. بین تیمارها از لحاظ محتوای ماده خشک و پروتئین خام اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P<۰/۰۵$). تیمارهای حرارت خشک ۸۰ درجه و اتوکلاو، مقدار ماده خشک بالاتری نسبت به تیمار حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد داشتند. هم‌چنین، مقدار پروتئین خام در تیمار اتوکلاو به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از نمونه‌های عمل‌آوری شده با حرارت خشک (۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) بود. مقدار خاکستر، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بین تیمارها اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>۰/۰۵$). با این حال، نتایج نشان داد که از نظر خاکستر نامحلول در شوینده اسیدی، بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P<۰/۰۵$) و بیش‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار اتوکلاو و کم‌ترین مقدار مربوط به تیمار حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد بود.

تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر پتانسیل تولید گاز و فراسنجه‌های تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار

تخم‌گذار: نتایج مربوط به تأثیر روش‌های عمل‌آوری حرارتی بر پتانسیل و نرخ تولید گاز و فراسنجه‌های تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار در جدول ۲ نشان‌داده شده است. بین تیمارهای

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

آزمایشی از نظر پتانسیل و نرخ تولید گاز اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). تیمار حرارت‌دیده در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و تیمار اتوکلاو شده به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل تولید گاز را داشتند. بین تیمارهای مختلف از نظر پتانسیل تولید گاز، غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و قابلیت هضم ماده‌آلی اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). نمونه‌های عمل‌آوری شده با حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با تیمارهای ۸۰ درجه سانتی‌گراد و اتوکلاو مقدار انرژی قابل متابولیسم، درصد قابلیت هضم ماده آلی و غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر پایین‌تری داشتند. فضولات مرغ تخم‌گذار عمل‌آوری شده با حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با نمونه‌های حرارت‌داده شده با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری انرژی قابل متابولیسم، قابلیت هضم ماده آلی و غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر بالاتری داشتند (P<۰/۰۵).

جدول ۱: تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر ترکیب شیمیایی فضولات مرغ تخم‌گذار (درصد براساس ماده خشک)

Table 1. Effect of different heating methods on chemical composition (DM basis) of laying hen litter

Treatments[1]	DM[2]	Ash[3]	CP[4]	NDF[5]	ADF[6]	AIA[7]	NDS[8]	HEMI[9]
1	27.73 [b]	17.49	22.53 [b]	39.33	27.00	2.85 [c]	60.66	12.33
2	29.14 [a]	18.19	22.23 [b]	40.26	28.00	3.06 [b]	59.73	12.26
3	28.72 [a]	19.76	24.68 [a]	40.33	30.00	3.32 [a]	58.66	11.33
SEM	22.75	0.695	0.213	1.05	1.19	0.05	1.051	1.090
P-Value	0.0231	0.2072	0.0014	0.5423	0.3554	0.0058	0.5423	0.8263

۱- تیمارهای آزمایشی شامل: ۱) عمل‌آوری ۶۰ درجه سانتی‌گراد ۲۴ ساعت ۲) عمل‌آوری ۸۰ درجه ۴۰دقیقه ۳) عمل‌آوری اتوکلاو، ۲- ماده خشک؛ ۳- خاکستر، ۴- پروتئین خام، ۵-الیاف نامحلول در شوینده خنثی، ۶- الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ۷- خاکستر نامحلول در شوینده اسیدی، ۸- بخش محلول در شوینده خنثی، ۹- همی‌سلولز. در هر ستون، اعداد با حروف غیرمشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵).

[1]Treatments: 1) dry heat at 60°C for 24 hours, 2) dry heat at 80°C for 40 minutes, and 3) moist heat using an autoclave (121°C for 15 minutes). DM: Dry matter (%); Ash (%); CP: Crude protein (%); NDF: Neutral detergent fiber (%); ADF: Acid detergent fiber (%); Acid insoluble ash (%); Neutral detergent soluble (%); Hemicellulos (%). SEM: Standard error of mean. In each column, numbers with non -identical alphanumeric characters are statistically different (P<0.05).

جدول ۲: تأثیر استفاده از تیمارهای حرارتی بر فراسنجه‌های تولید گاز فضولات مرغ تخمگذار

Table 2. Effect of different heating methods on gas production parameters of laying hen litter

Treatments [1]	a+b [2]	C [3]	ME [4]	OMD [5]	SCFA [6]	NE [7]
1	157.5±2.28	0.031±0.0010	4.42 [b]	29.41 [b]	0.35 [b]	1.50 [b]
2	165.15±3.63	0.0393±0.0022	4.64 [a]	30.86 [a]	0.39 [a]	1.69 [a]
3	134.4±1.72	0.0527±0.0019	4.75 [a]	31.55 [a]	0.41 [a]	1.77 [a]
SEM	-	-	0.043	0.283	0.007	0.036
P-value	-	-	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014

۱- تیمارها: ۱) عمل‌آوری ۶۰ درجه سانتی‌گراد ۲۴ ساعت۲) عمل‌آوری ۸۰ درجه ۴۰ دقیقه ۳) عمل‌آوری اتوکلاو، ۲- پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر)، ۳- ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت)، ۴- انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم)، ۵- قابلیت هضم ماده آلی (درصد)، ۶- اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول)، ۷- انرژی خالص (مگاژول در کیلوگرم). در هر ستون، اعداد با حروف غیرمشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (p<۰/۰۵).

Treatments: 1) dry heat at 60°C for 24 hours, 2) dry heat at 80°C for 40 minutes, and 3) moist heat using an autoclave (121°C for 15 minutes). a+b: Gas production potential (ml/g DM); C: Gas production rate (ml/h); SCFA: ME: Metabolizable energy (MJ/kg); OMD: Organic matter digestibility (% DM); Short chain fatty acids (m mol). SEM: Standard error of the mean. [a,b.] Within column, means with common superscripts do not differ (P> 0.05).

جدول ۳: تاثیر عمل‌آوری حرارتی بر قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار

Table 3. The effect of different heating methods on *in vitro* digestibility and ruminal fermentation parameters of laying hen litter

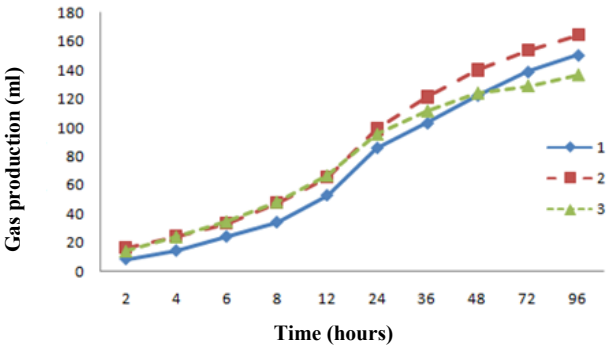
Treatments[1]	IVDOD[2]	IVOMD[3]	PF[4]	MCP[5]	EMCP[6]	Gas yeild$_{24}$[7]	PH	NH3-N[8]
1	65	64	7.63a	189.79[a]	0.711a	107.54b	6.85[a]	2.86
2	64	63	8.20a	191.54a	0.731a	99.77b	6.80[b]	2.68
3	63	62	6.27[b]	164.82[b]	0.648[b]	127.54[a]	6.86[a]	3.48
SEM	4.49	5.18	0.58	7.07	0.025	8.65	0.01	0.339
P-value	0.750	0.847	0.0001	0.0451	0.0001	0.0001	0.0112	0.265

۱- تیمارها: ۱) عمل‌آوری ۶۰ درجه سانتی‌گراد ۲۴ ساعت۲) عمل‌آوری ۸۰ درجه ۴۰ دقیقه ۳) عمل‌آوری اتوکلاو. ۲- ماده خشک هضم شده پس از ۲۴ ساعت در شرایط برون‌تنی (درصد)، ۳- ماده آلی هضم شده پس از ۲۴ ساعت در شرایط برون‌تنی (درصد)، ۴- عامل تفکیک (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)، ۵- توده میکروبی تولید شده (میلی‌گرم)، ۶- بازده توده میکروبی تولید شده، ۷- بازده تولید گاز (میلی‌لیتر)، ۸- اسیدیته محیط کشت، ۹- ازت آمونیاکی (میلی‌گرم در دسی‌لیتر). در هر ستون، اعداد با حروف غیرمشابه از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۵).

Treatments: 1) dry heat at 60°C for 24 hours, 2) dry heat at 80°C for 40 minutes, and 3) moist heat using an autoclave (121°C for 15 minutes).
DMD: Dry matter digestibility (%); OMD: Organic matter digestibility (%); PF: Partitioning factor (mg OM truly degraded/ml gas produced in 24 h); MCP: Microbial crude protein (mg); EMCP: Efficiency of Microbial crude protein; Gas yield24: The amount of gas production after 24 hours of incubation (ml); N-NH3 (mg/dl) . SEM: Standard error of the mean. a,b. Within column, means with common superscripts do not differ (P> 0.05).

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر قابلیت هضم و پارامترهای تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار: نتایج مربوط به عمل‌آوری حرارتی بر قابلیت هضم ماده آلی و ماده خشک فراسنجه‌های تخمیری و تولید پروتئین میکروبی در جدول ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بین عمل‌آوری با دماهای ۶۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد و نیز اتوکلاو از نظر قابلیت هضم ماده خشک و ماده‌ی آلی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (P>۰/۰۵).



شکل ۱: تأثیر عمل‌آوری حرارتی بر روند تولید گاز سیلاژ فضولات مرغ تخم‌گذار

۱- عمل‌آوری حرارتی ۶۰ درجه سانتی‌گراد، ۲- عمل‌آوری حرارتی ۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۳- عمل‌آوری حرارتی اتوکلاو.

Fig 2. Gas production curves at different times of incubation
Treatments: 1) dry heat at 60°C for 24 hours, 2) dry heat at 80°C for 40 minutes, and 3) moist heat using an autoclave (121°C for 15 minutes).

بحث

آسیب حرارتی می‌تواند باعث افزایش نیتروژن متصل به دیواره سلولی شود. بالارفتن حرارت از مرز ۶۱ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش کیفیت بستر جوجه گوشتی از طریق آسیب به پروتئین و کربوهیدرات‌ها می‌شود(۲۳).اعمال تیمار حرارتی باعث باند شدن ترکیبات پروتئینی با سلولز و همی‌سلولز و ورود آن‌ها به بخش پروتئین نامحلول می‌گردد (۲۴). روند افزایشی در میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ممکن است به‌دلیل آسیب حرارتی طی فرآیند عمل‌آوری باشد. ایجاد لیگنین مصنوعی از نتایج آسیب حرارتی در فرآوری‌های حرارتی است که این نتایج موافق با نتایج حاصل شده از McDonald و همکاران (۲۵) بود. Caswell و همکاران، روش‌های عمل‌آوری مختلفی را برای پاستوریزه کردن فضولات مقایسه کردند و نشان دادند که حرارت خشک موجب از دست دادن قسمت عمده نیتروژن موجود در کود مرغی می‌گردد (۲۶). بیش‌ترین اتلاف مربوط به نیتروژن آمونیاکی بود. اتوکلاو نمودن باعث کم‌ترین اتلاف در نیتروژن و افزایش معنی‌دار پروتئین حقیقی گشت. افزایش پروتئین حقیقی از طریق متصل نمودن نیتروژن از مواد نیتروژنه غیر پروتئینی به پروتئین انجام شد. حجم گاز صفت خوبی برای برآورد قابلیت هضم، فرآورده‌های نهایی هضم و ساخت پروتئین میکروبی در شرایط برون‌تنی می‌باشد (۲۷). کل حجم گاز تولیدی اندازه‌گیری شده در شرایط برون‌تنی شامل دی‌اکسیدکربن و متان، مستقیماً از سوخت و ساز میکروبی و غیرمستقیم از واکنش بین اسیدهای چرب فرار با بیکربنات حاصل می‌شود (۲۸). تولید گاز ناشی از تخمیر پروتئین در مقایسه با تخمیر کربوهیدرات(۲۹) نسبتاً کم می‌باشد. سهم چربی نیز در تولید گاز جزئی می‌باشد (۱۸). محتویات مواد بستر طیور حاوی حدود ۳۰ درصد پروتئین خام، ۱۵ درصد خاکستر، ۱۵ درصد الیاف خام و ۲۲۰۰ کیلوکالری بر گرم انرژی قابل متابولیسم است(۳۰). نیتروژن غیرپروتئینی معمولاً بخش بزرگی از محتوی پروتئین خام (حدود ۶۰۰-۴۰۰ گرم بر کیلوگرم) بستر طیور را تشکیل می‌دهد (۷). محتوای بالای انرژی قابل متابولیسم کود مرغی در برخی پژوهش‌ها در مقایسه با دیگر یافته‌ها، احتمالاً به‌دلیل مقدار کم‌تر خاکستر خام و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی باشد. زیرا بین میزان انرژی قابل متابولیسم و مجموع خاکستر خام و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در این فرآورده رابطه معکوسی وجود دارد (۳۱). به‌علاوه، تفاوت در قابلیت دسترسی انرژی کود مرغی به عواملی مانند فرآیند حرارتی، میزان خاکستر خام و الیاف بستگی دارد(۳۲). اسیدهای چرب فرار، گاز و توده میکروبی محصولات نهایی هضم تخمیری می‌باشند. آدنوزین تری‌فسفات تولیدشده توسط یک‌سری واکنش‌های انرژی‌زا، انرژی لازم را برای فعالیت میکروبی فراهم می‌کند (نگه‌داری، رشد و تولید). در مطالعه با سوبسترای غنی از انرژی، جمعیت میکروبی شکمبه علاوه بر لاکتات، اسیدهای چرب فرار وگاز تولید می‌کند. در طول دوره تخمیر اسیداستیک تولید شده و پس از آن، تشکیل اسیدهای چرب فرار به‌سرعت به‌وسیله اجزاء تخمیری جایگزین سوبسترای در دسترس، رشد میکروارگانیسم‌ها محدود می‌شود (۲۸). با این حال، حجم خالص از گاز تولید شده به ازای هر واحد سوبسترا هضم شده نشان‌دهنده متابولیسم میکروبی است. به‌دلیل این‌که در روش برون‌تنی از پایه بیکربنات به‌عنوان بافر محلول استفاده شده است، دی‌اکسید کربنه داخل فاز گاز آزاد شده و اسیدهای چرب فرار وارد محیط کشت می‌شود (۳۳، ۲۸، ۱۸). درحالی‌که تمام اسیدهای ورودی به سیستم در محیط کشت به‌طور غیرمستقیم دی‌اکسیدکربن از بیکربنات تولید می‌کنند. دی‌اکسید کربن تولید شده مستقیماً از متابولیسم در درجه اول وابسته به تولید استات و بوتیرات است (۲۹، ۲۸). درنتیجه تولید دو مول استات یا یک مول بوتیرات (از یک مول از هگزوز) به‌ترتیب تولید ۳ یا ۴ مول دی‌اکسیدکربن می‌کنند. درحالی که دو مول پروپیونات تنها جوابگوی آزادسازی دو مول دی‌اکسید

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

کربن به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله واکنش با بیکربنات است. در عمل، محیط کشت برون‌تنی حاوی یک بافر بیکربنات خالص نیست. اما به خوبی حاوی فسفات است. بنابراین بافر فسفات بخشی از اسید ورودی به محیط کشت را خنثی کرده و تبدیل به دی‌اکسید کربن رها شده با نسبت ۱:۱ بیکربنات تقریباً ۰/۸۷ مول دی‌اکسید کربن به‌ازای هر مول اسید برای بافراست، مورد استفاده توسط Spoelstra و همکاران به‌ویژه کاهش به‌وسیله غلظت فسفات در محیط کشت تعیین می‌شود (۲۸). اندازه‌گیری گاز تولیدی در شرایط برون تنی اطلاعات مفیدی را درباره سرعت و میزان هضم خوراک فراهم می‌کند. به‌کارگیری این تکنیک به‌منظور تجزیه‌پذیری خوراک‌های الیافی به اثبات رسیده است(۱۸). از نظر عامل تفکیک و توده‌میکروبی و بازده تولید پروتئین میکروبی نیز پایین‌ترین مقدار مربوط به تیمار اتوکلاو و بالاترین مقدار مربوط به نمونه عمل‌آوری شده با حرارت ۸۰ درجه سانتی‌گراد بود. دامنه مقادیر برای عامل تفکیک برای خوراک‌های فاقد تانن یا متعارف توسط Blummel و همکاران، بین ۲/۷۵ تا ۴/۴۱ میلی‌گرم به ازاء هر میلی‌لیتر گزارش شده است (۳۴). در واقع، عامل تفکیک مبین نسبت تجزیه حقیقی سوبسترا به حجم گاز تولید شده در دوره‌های زمانی انکوباسیون ۲۴ یا ۴۸ ساعت بوده و شاخصی از راندمان ساخت توده میکروبی در شرایط برون‌تنی می‌باشد. بالاتر بودن این شاخص نشان دهنده این است که ماده آلی بیش‌تری وارد توده میکروبی می‌شود. در این مطالعه مقادیر عامل تفکیک بالاتر از دامنه طبیعی بود که احتمالاً به‌خاطر بالاتر بودن خاکستر فضولات طیور می‌باشد که در محیط انکوباسیون هضم شده اما وارد توده میکروبی نمی‌شود. تیمار عمل‌آوری شده با اتوکلاو پایین‌ترین مقدار عامل تفکیک را داشت. راندمان تولید گاز که در حقیقت حجم گاز تولید شده به ازاء هر گرم ماده خشک هضم شده را نشان می‌دهد، در فضولات طیور عمل‌آوری شده با اتوکلاو بالاترین بود. از نظر pH محیط کشت بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود داشت (P<۰/۰۵). از نظر غلظت نیتروژن آمونیاکی نیز تیمار عمل‌آوری شده با اتوکلاو به‌طور غیر معنی‌داری بالاترین مقدار را داشت. نیتروژن آمونیاکی، به‌عنوان یکی از فرآورده‌های نهایی تخمیر، در نتیجه هیدرولیز و دآمیناسیون پروتئین‌ها تولید شده که به عنوان منبع نیتروژن برای رشد میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. علی‌رغم بالاتر بودن غلظت نیتروژن آمونیاکی، تیمار اتوکلاو پایین‌ترین مقدار تولید توده میکروبی را نشان داد. این نتیجه می‌تواند به‌دلیل آسیب حرارتی به پروتئین‌ها و کاهش دسترسی میکروب‌ها به منابع نیتروژن برای ساخت پروتئین میکروبی باشد. کاهش غلظت نیتروژن آمونیاکی در تیمارهای ۶۰ درجه سانتی گراد و ۸۰ درجه سانتی‌گراد به تکثیر میکروبی شکمبه و افزایش ورود آن برای ساخت پروتئین میکروبی نسبت داده می‌شود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که عمل‌آوری با اتوکلاو باعث کاهش قابلیت هضم و فراسنجه‌های تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار در مقایسه با عمل‌آوری با دماهای پایین‌تر شد. Moshtaghi Nia و Ingalls، مشاهده کردند که تیمار حرارتی (دمای ۱۲۷ درجه سانتی‌گراد) برای مدت ۱۵ و ۴۵ دقیقه به‌طور معنی‌داری تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای اسیدهای آمینه و ماده‌خشک را کاهش داد و دسترسی اسیدهای آمینه در روده را افزایش داد. هم‌چنین تیمار حرارتی هیچ اثری بر قابلیت هضم ماده خشک و پروتئین روده کوچک نداشت (۸). Tymchuk و همکاران، با انجام عمل‌آوری‌های شیمیایی و فیزیکی بر خوراک گاوهای شیری بیان داشتند که هر دو نوع فرآیند می‌تواند تجزیه‌پذیری ماده آلی و پروتئین خام خوراک را در شکمبه کاهش داده و سبب بهبود پروتئین عبوری از شکمبه گردد. به‌نظر می‌رسد فراهم آوردن منبع پروتئین عبوری برای نشخوارکنندگان که توسط انواع عمل‌آوری ایجاد شده در مجموع بازدهی پروتئین را در تغذیه این حیوانات افزایش می‌دهد (۳۵). به‌عنوان مثال Danesh-Mesgaran و همکاران، تاکید کردند که در گاوهای شیری پر تولید عمدتاً مشکل بالا بودن سطح نیتروژن آمونیاکی در شکمبه وجود دارد. این امر علاوه بر اتلاف منابع با ارزش پروتئینی به شکل آمونیاک، راندمان تولیدمثلی را نیز کاهش می‌دهد (۳۶). لذا این محققین بیان داشتند که عمل‌آوری حرارتی به‌صورت تف دادن، روش موثری در افزایش راندمان استفاده از پروتئین با ارزش دانه‌های روغنی از جمله کلزا است. با گرمادهی خوراک‌ها، قابلیت هضم پروتئین خام کم‌تری در جیره محتوی بستر گزارش شده است. علت پایین بودن هضم پروتئین خام جیره بستر طیور احتمالاً وجود واکنش برگشت‌ناپذیر میلارد از برخی اسیدهای آمینه ته‌مانده پروتئین‌ها با منابع قندی در درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد در طی سیلوی بستر طیور می‌باشد (۳۷). حرارت دادن یکی از روش‌های مورد استفاده برای افزایش پروتئین عبوری از شکمبه می‌باشد. حرارت دادن انجام واکنش‌های میلارد یا قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی که بین گروه‌های آلدئید قندها و گروه‌های آمینی اسیدهای آمینه آزاد پروتئینی صورت می‌گیرد را تسهیل می‌کند. کمپلکس تشکیل شده (کمپلکس قند- اسید آمینه) بیش از سایر پپتیدهای طبیعی به هیدرولیز آنزیمی مقاوم است و برگشت‌پذیری این واکنش به‌مقدار حرارت بستگی دارد (۳۸)، بنابراین افزایش مقاومت به تجزیه میکروبی پروتئین در شکمبه مشاهده می‌شود (۳۹). حرارت دادن باعث تشکیل پیوندهای ایزوپپتیدی بین لیزین باقی‌مانده و گروه کربوکسامید آسپارژین و گلوتامین می‌شود (۴۰). فرآیند حرارتی قابلیت تجزیه شکمبه، با دناتوره کردن پروتئین‌ها و تشکیل پیوندهای عرضی پروتئین- کربوهیدرات (واکنش میلارد) و پروتئین-پروتئین کاهش می‌دهد. حرارت ملایم میزان جریان عبور پروتئین به روده کوچک را افزایش می‌دهد. اما حرارت زیاد ممکن است

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

قابلیت هضم پروتئین و دسترسی برخی از اسیدهای آمینه به‌ویژه لیزین و متیونین در روده کوچک را کاهش دهد (۸). اعمال تیمار حرارتی بر منابع پروتئینی سریع تجزیه هم‌چون کلزا و کنجاله سویا نشان داده است که تجزیه‌پذیری پروتئین در شکمبه کاهش یافته و دسترسی پروتئین‌ها در روده افزایش یافته است (۴۱).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که روش‌های عمل‌آوری حرارتی خشک (با دمای پایین و زمان طولانی یا دمای بالا و زمان کوتاه) تأثیرات مشابهی بر ارزش تغذیه‌ای و فراسنجه‌های تخمیری فضولات مرغ تخم‌گذار داشتند. با این حال، عمل‌آوری با اتوکلاو (حرارت مرطوب)، به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقدار پروتئین خام را افزایش داد، اما در عین‌حال منجر به کاهش قابلیت هضم و پارامترهای تخمیری شد. بنابراین، انتخاب روش عمل‌آوری به هدف نهایی (مانند افزایش پروتئین یا قابلیت هضم) و هم‌چنین ملاحظات اقتصادی و امکانات موجود بستگی دارد. برای تأیید این نتایج و ارزیابی دقیق مریت اقتصادی هر روش، انجام آزمایش‌های بیشتر در شرایط مشابه توصیه می‌شود.

منابع

1. **Kelleher, B.P., Leahy, J.J., Henihan, A.M., O'dwyer, T.F., Sutton, D. and Leahy, M.J., 2002.** Advances in poultry litter disposal technology–a review. *Bioresource technology*. 83(1): 27-36. https://doi.org/10.1016/S0960.8524(01)00133-7
2. **Abelha, P., Gulyurtlu, I., Boavida, D., Barros, J.S., Cabrita, I., Leahy, J. and Leahy, M., 2003.** Combustion of poultry litter in a fluidised bed combustor. *Fuel*. 82(6): 687-692. https://doi.org/10.1016/S0016-2361(02)00346-6
3. **Qian, X., Lee, S., Chandrasekaran, R., Yang, Y., Caballes, M., Alamu, O. and Chen, G., 2019.** Electricity evaluation and emission characteristics of poultry litter co-combustion process. *Applied Sciences*. 9(19): 4116. https://doi.org/10.3390/app9194116
4. **Azizi-Shotorkhoft, A., Rezaei, J. and Fazaeli, H., 2013.** The effect of different levels of molasses on the digestibility, rumen parameters and blood metabolites in sheep fed processed broiler litter. *Animal Feed Science and Technology*. 179: 69-76. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.10.015
5. **Rankins, Jr, D.L., Eason, J.T., McCaskey, T., Stephenson, A.A.H. and Floyd, Jr.J.G., 2002.** Nutritional and toxicological evaluation of three deep stacking methods for the processing of broiler litter as a foodstuff for beef cattle. *Animal production*. 56: 321-326. https://doi.org/10.1079/APJ20010189
6. **Noland, P.R., ford, B.F. and ray, M.I., 1955.** The use of ground chichen litter as source of nitrogen for gestatin lactating ewes and fattning streers. *Journal of Animal Science*. 14: 860.
7. **Van Ryssen, J.B.J., 2001.** Poultry litter as a feedstuff for ruminants: a South African scene. *South African Journal of Animal Science*. 2: 1-8. https://doi.org/10.4314/sajas.V31i2.15582
8. **Moshtaghi Nia, S.A. and Ingalls, J.R., 1995.** Evaluation of moist heat treatment of canola meal on digestion in the rumen, small intestine, large intestine and total digestive tract of steers. *Canadian Journal of Animal Science*. 75: 279-283. https://doi.org/10.4141/cjss95-042
9. **Hopkins, B.A. and Poore, M.H. 2001.** Deep-Stacked broiler litter as a protein supplement for dairy replacement heifers. *Journal of Dairy Science*. 84(1): 299-305. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74474-0
10. **Salehtarigh, A., 2009.** Effect of heat treatment on microbial count and nutritive value of broiler litter with or without molasses. M.Sc. dissertation, Azad University of Pishva-Varamin. (In Persian)
11. **McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J. F.D. and Morgan, C.A., 2002.** Animal Nutrition. 6th ed. Harlow, UK: Pearson Education Inc.
12. **AOAC International. 2003.** Official methods of analysis of AOAC International. 17th edition. 2nd revision. Gaithersburg, MD, USA, Association of Analytical Communities.
13. **Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis, B.A., 1991.** Methods of dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch poly-saccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74(10): 3583-3597. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2
14. **Broderick, G.A. and Kang, J.H., 1980.** Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media. *Journal of Animal Science*. 63: 64-75.
15. **Menke, K.H., Raab, L., Solewski, A., Steingass, H., Fritz, D. and Schneider, W., 1979.** The estimation of the digestibility and metabolisable energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor in vitro. *Journal of Agriculture science*. 93: 217-222. https://doi.org/10.1017/S002185960004944X
16. **Orskov, 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 Agriculture Science*. 92: 499-503. https://doi.org/10.1017/S0021859600048688
17. **Makkar, H.P.S., 2004.** Recent advances in the invitro gas method for evaluation of nutritional quality of food resource. In: Assessing Quality and safety of animal feeds. FAO Animal production and health series 160. Rome, Italy: FAO. 55-88.
18. **Menke, K.H. and Steingass, H.H., 1988.** Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Journal of animal research and development*. 28 p.
19. **SAS. 2003.** SAS User's Guide Statistics. Version 9.1 Edition. Cary, NC: SAS Inst., Inc.
20. **Theodorou, M.K., Williams, B.A., Dhanoa, M.S., McAllan, A.B. and France, J., 1994.** A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*. 48: 185-197. https://doi.org/10.1016/0377-8401(94)90171-6
21. **Getachew, G., Depiters, E.J. and Robinson, P.H. 2002.** In vitro gas production provides effective method for assessing ruminant feeds. *California Agriculture*. 58: 54-58. https://doi.org/10.3733/ca.v056n02p54
22. **Blummel, M. and Becker, K., 1997.** The degradability characteristics of fifty-four roughages and roughage neutral-detergent fibers as described by in vitro gas production and their relationship to voluntary feed intake.

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]

British Journal of Nutrition. 77: 757-768. https://doi.org/10.1079/BJN19970077

23. **Wang, Z.S. and Goetsch, A.L., 1998.** Intake and digestion by Holstein steers consuming diets based on litter harvested after different numbers of broiler growing periods or with molasses addition before deeps tacking. *Journal of Animal Science*. 76: 880-887. https://doi.org/10.2527/1998.763880x

24. **Suppadit, T., 2005.** The recycle of broiler litter as a feed ingredient for cattle to reduce environmental pollution III. Safe use of broiler litter as a feed ingredient source. *Thai Environmental Engineering Journal*. 9: 22-34.

25. **McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. and Morgan, C.A., 2002.** Animal Nutrition. 6th ed. Harlow, UK: Pearson Education Inc.

26. **Caswell. L.F., Fontenot, J.P. and Webb, Jr, K.E., 1978.** Fermentation and utilization of broiler litter ensiled at different moisture levels. *Journal of Animal Science*. 46(2): 547-560. https://doi.org/10.2527/jas1978.462547x

27. **Sommart, K., Parker, D.S., Rowlinson, P. and Wanapat, M., 2000.** Fermentation characteristics and microbial protein synthesis in an in vitro system using cassava, rice straw and dried ruzi grass as substrates. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 13: 1084-1093. https://doi.org/10.5713/ajas.2000.1084

28. **Spoelstra, S.F., Steg, A. and Beuvink, J.M.W., 1990.** Application of cell wall degrading enzymes to grass silage. In: Dekkers, H.C., Van der, P. and Vuijk, D.K., (Eds.), Agricultural Biotechnology in Focus in The Netherlands, unknown. Wageningen, The Netherlands: Puck.

29. **Wolin, M.J., 1960.** A theoretical rumen fermentation balance. *Journal of Dairy Science*. 43: 1452-1459. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(60)87019-3

30. **Fontenot, J.P., Daeke, C.L., McClure, W.H., Mc Claugherty, F.S., Bhattacharya, A.N., Kelly R.F. and Litton, G.W., 1964.** The value of poultry litter as a feed for ruminants. Blacksburg, VA: Virginia Agricultural Experiment Station. 37 p.

31. **Deshck, A., Abo-Shehada, M., Allonby, E., Givens, D.I. and Hill, R., 1998.** Assessment of the nutritive value for ruminants of poultry litter. *Animal Feed Science and Technology*. 73: 29-35. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(98)00115-0

32. **Bolan, N.S., Mahimairaja, S., Singh, J. and Bhandral, R., 2005.** The beneficial use and the environmental management of poultry litter. Institute of Natural Resources, Massey University, Palmerstone, North New Zealand.

33. **O'Hara, M., Hozumi, S. and Ohki, K., 1974.** Studies on the mode of gas production in artificial rumen and its application to the evaluation of feedstuffs. IV. On the rule of bicarbonate buffer for the gas production. *The Japanese journal of zootechnical science*. 45: 1-7.

34. **Blummel, M., Makkar, H.P.S. and Becker, K., 1997.** In vitro gas production: a technique revisited. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 77: 34-24. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1997.tb01002.x

35. **Tymchuk, S.M., Khorasani, G.R. and Kennelly, J.J., 1998.** Effect of feeding formaldehyde- and heat-treated oil seed on milk yield and milk composition. *Canadian Journal of Animal Science*. 78: 693-700. https://doi.org/10.4141/cjss98-105

36. **Danesh-Mesgaran, M., Fathi-Nasri, M.H. and Valizadeh, R., 2006.** Chemical composition, degradability coefficients and ruminal-intestinal disappearance of crude protein of whole raw or heated Canola seed in Holstein steers. *Sciences and Agricultural industry*. 1: 181-190. (In Persian)

37. **Chaudhry, S.M., Fontenot, J.P., Naseer, Z., Ali, C.S., 1996.** Nutritive value of deep stacked and ensiled broiler litter for sheep. *Animal Feed Science and Technology*. 57: 165-173. https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)01016-5

38. **Hurrell, R.F. and Finot, R.A. 1985.** Effect of food processing on protein digestibility and amino acid availability. In: Finley, J.W. and Hopkins, D.T., (Eds.), Digestibility and amino acid availability in cereals and oilseeds. 233-258. St Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.

39. **Stanley, D.W., 1990.** Protein reactions during extrusion Processing. In: Extrusion cooking. 321-336. Guelph, Ontario, canada: Department of Food Science University of Guelph.

40. **Beltiz, H.D. and Grosch, W., 1987.** Reaction involved in food chemistry. Berlin, Germany: Springer Verlag.

41. **Mc Kinnon, J.J., Olubobokoun, J.A., Chistensen, D.A. and Cohen, R.D.H.., 1991.** The influence of heat and chemical treatment on ruminal disappearance of canola meal. *Canadian Journal of Animal Science*. 71: 773-780. https://doi.org/10.4141/cjss91-096

[Downloaded from www.journalaer.com on 2026-06-18]