14(1) 57-66, Spring 2022

Journal of Animal Environment
(AEJ)
Journal homepage: http://www.aejournal.ir

Original Research Paper

Chemical composition and *in vitro* digestibility of *Sesbania sesban* using gas production technique during various weeks of growth in ruminant nutrition

Seyed Mehdi Ghoreishi [*1], ***Amir Mousaie*** [2], ***Akram Maleki*** [2], ***Nemat Ziaei*** [3], ***Mohammad Amin Nematollahi*** [4], ***Javad Taei Semiromi*** [5]

[1] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*
[2] *Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Jiroft University, Jiroft, Iran*
[3] *Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Shirvan Higher Education Complex, Shirvan, Iran*
[4] *Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran*
[5] *Department of Agricultural Engineering, Fasa Technical and Agricultural College, Technical and Vocational University, Fasa, Iran*

Key Words

Chemical composition
Gas production technique
In vitro digestibility
Sesbania sesban
Weeks of growth

Abstract

Introduction: Sesbania is a perennial legume that grows mostly in the tropics of Asia, Africa and Australia. This plant tolerates different type of soils, especially saline soils. Due to appropriate protein percentage and relatively low fiber, this plant can be used in ruminant diets. This study was conducted to determine the chemical composition and digestibility of sesbania (*Sesbania sesban*) using gas production technique and to evaluate the trend of changes in these parameters from the third week to ninth week of growth.

Materials & Methods: The samples from whole plant, leaves and stems were collected separately at third, fifth, seventh and ninth week of planting, to measure chemical composition (dry matter, protein, ash, neutral detergent fiber and acid detergent fiber) and also *in vitro* digestibility by gas production technique.

Results: The results of this experiment showed that the percentage of NDF and ADF increased significantly with the growth in the whole plant, leaves and stems, so that in the whole plant the amount of NDF increased from 35.66% in the third week to 46.08% in ninth week, and ADF ranged from 22.90 in the third week to 35.43 in the ninth week. Protein concentration decreased with aging in all parts of the plant. The amount of protein in the ninth week of growth was approximately 17.38% and 21.01% in the whole plant and leaves, respectively. With increasing plant age, along with increasing the concentration of structural carbohydrates and protein reduction in all three samples (whole plant, leaves and stems), the production of cumulative gas after 48 hours, total gas production, metabolisable energy, short chain fatty acids and organic matter digestibility decreased.

Conclusion: The results of this study showed that according to the amount of dry matter and other measured compounds, the most appropriate time to harvest this plant as a whole plant is the seventh week of cultivation and the whole sesbania or its leaves can be a good source of livestock fodder after about two months of cultivation.

* Corresponding Author's email: smghoreishi@shirazu.ac.ir
Received: 21 December 2020; Reviewed: 22 January 2021; Revised: 22 March 2021; Accepted: 24 April 2021
(DOI): 10.22034/AEJ.2021.278108.2481

مقاله پژوهشی

ترکیب شیمیایی و گوارش‌پذیری آزمایشگاهی گیاه سسبانیا (*Sesbania sesban*) در هفته‌های گوناگون رشد به روش تولید گاز در تغذیه نشخوارکنندگان (*Vibrio harveyi*)

سیدمهدی قریشی[*1]، *امیر موسایی*[2]، *اکرم مالکی*[2]، *نعمت ضیایی*[3]، *محمدامین نعمت‌اللهی*[4]، *جواد طایی‌سمیرمی*[5]

[1] گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
[2] گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
[3] گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی شیروان، شیروان، ایران
[4] گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
[5] گروه مهندسی کشاورزی ، آموزشکده فنی و کشاورزی فسا، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، فسا، ایران

کلمات کلیدی

ترکیب شیمیایی
روش تولید گاز
سسبانیا سسبان
گوارش‌پذیری آزمایشگاهی
هفته‌های رشد

چکیده

مقدمه: گیاه سسبانیا از لگوم‌های چندساله است که بیش‌تر، در مناطق گرمسیری آسیا، آفریقا و استرالیا می‌روید. این گیاه انواع خاک‌ها را تحمل نموده و به‌ویژه سازگاری بالایی نسبت به خاک‌های شور دارد. به‌دلیل پروتئین مناسب و فیبر نسبتاً پایین آن، می‌توان این گیاه را در جیره نشخوارکنندگان به‌کار برد. این پژوهش با هدف اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی و گوارش‌پذیری آزمایشگاهی مواد مغذی گیاه سسبانیا (*Sesbania sesban*) به‌روش تولید گاز، و بررسی روند تغییرات این فراسنجه‌ها از هفته سوم تا نهم رشد در بخش‌های گوناگون این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها: پس از کشت گیاه در مزرعه پژوهشی، در هفته سوم، پنجم، هفتم و نهم کاشت، از گیاه کامل، برگ‌ها و ساقه برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی (ماده خشک، پروتئین، خاکستر، فیبر نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و اسیدی (ADF)) و هم‌چنین، گوارش‌پذیری آزمایشگاهی به‌روش تولید گاز، به‌طور جداگانه نمونه‌هایی برداشته شد.

نتایج: یافته‌های این آزمایش نشان داد که درصد NDF وADF با افزایش سن گیاه در گیاه کامل، برگ و ساقه به گونه معنی‌داری افزایش یافت به گونه‌ای که در گیاه کامل مقدار NDF از ۳۵/٦٦ درصد درهفته سوم به ٤٦/۰۸ درصد درهفته نهم و مقدار ADF از ۲۲/۹۰ در هفته سوم به ۳۵/٤۳ در هفته نهم رسید. غلظت پروتئین با افزایش سن در همه بخش‌های گیاه کاهش یافت و مقدار پروتئین خام در هفته نهم رشد به‌ترتیب در گیاه کامل و برگ، ۱۷/۳۸ و ۲۱/۰۱ درصد بود. با افزایش سن گیاه، همگام با افزایش غلظت کربوهیدرات‌های ساختاری و کاهش پروتئین در هر سه نمونه (گیاه کامل، برگ و ساقه)، تولید گاز تجمعی پس از ٤۸ ساعت، کل گاز تولیدی، میزان انرژی قابل متابولیسم، اسیدهای چرب کوتاه زنجیره و گوارش‌پذیری ماده آلی کاهش یافت.

نتیجه‌گیری و بحث: یافته‌های این پژوهش نشان داد با توجه به مقدار ماده خشک تولیدی و دیگر ترکیبات اندازه‌گیری شده، مناسب‌ترین زمان برداشت این گیاه چندساله به‌عنوان گیاه کامل، هفته هفتم کشت بوده و گیاه کامل سسبانیا و یا برگ آن می‌تواند پس از نزدیک دو ماه کشت منبع مناسبی برای تامین علوفه دام باشد.

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: smghoreishi@shirazu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱ دی ۱۳۹۹؛ تاریخ داوری: ۳ بهمن ۱۳۹۹؛ تاریخ اصلاح: ۲ فروردین ۱٤۰۰؛ تاریخ پذیرش: ٤ اردیبهشت ۱٤۰۰
(DOI): 10.22034/AEJ.2021.278108.2481

مقدمه

گیاه سسبانیا (*Sesbania sesban*) از لگوم‌های چندساله با رشد سریع است که بلندی آن در طی یک‌سال تا ۸ متر می‌رسد. هرچند منشا این گیاه درختچه‌ای نامشخص است اما گسترش و کشت آن، بیش‌تر در مناطق گرمسیری آسیا (هند و ویتنام)، آفریقا و استرالیا گزارش شده است و تا ارتفاع ۲۳۰۰ متری از سطح دریا می‌روید. شرایط رشد بهینه آن در بخش‌هایی است که میانگین بارندگی سالانه آن ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر و کمینه دمای آن ۷ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد است (۱). این گیاه در دامنه گسترده‌ای از خاک‌ها از شنی سبک تا رسی سنگین رشد می‌کند و انواع خاک‌ها (خاک‌های شور، بازی و اسیدی و خاک‌های با فسفر پایین) را تحمل نموده و به‌ویژه سازگاری بالایی را به خاک‌های شور نشان می‌دهد (۲). اگرچه عملکرد تولید ماده خشک این گیاه در سال ۴ تا ۱۲ تن در هکتار با ۳ تا ۵ برداشت گزارش شده است، اما عملکرد سالانه آن تا ۲۰ تن ماده خشک در هکتار در شرایط بهینه نیز می‌رسد (۳). با این‌حال بهتر است برداشت گیاه در زمانی انجام شود که ارتفاع آن ۰/۷۵ تا یک متر است. این گیاه دارای برگ‌های مرکب به طول ۲ تا ۱۸ سانتی‌متر با برگ‌چه‌هایی دوکی شکل است. این گیاه به‌عنوان یک گیاه تثبیت کننده نیتروژن به‌شمار آمده و باعث تقویت خاک می‌شود و می‌توان آن را با گیاهانی مانند ذرت، لوبیاها و پنبه کشت کرد. هم‌چنین از این گیاه به‌عنوان علوفه دام و گیاه دارویی با ویژگی‌های ضدالتهابی، ضددیابتی و آنتی‌اکسیدانی در درمان برخی بیماری‌ها استفاده شده است (۱). برگ و ساقه‌های ترد و نازک این گیاه سرشار از پروتئین خام (بیش‌تر از ۲۰ درصد ماده خشک) است و فیبر نسبتاً پایینی (مقدار NDF کم‌تر از ۳۰ درصد ماده خشک) دارد. گوارش‌پذیری برگ و ساقه‌های نازک این گیاه زیاد می‌باشد، از این‌رو در جیره نشخوارکنندگان به‌عنوان یک علوفه با غلظت پروتئین بالا استفاده می‌شود (۱، ۴). میانگین پروتئین خام در این گیاه ۲۶ درصد (با دامنه ۱۸ تا ۳۱ درصد) گزارش شده است (۴). این گیاه یکی از لگوم‌های علوفه‌ای با ارتفاع بلند است که تانن نسبتاً کمی دارد (۵). با وجود این، برگ‌های سسبانیا ساپونین نسبتاً بالایی دارند که می‌تواند تولید شکمبه‌ای متان را کاهش داده و در صورت مصرف مقادیر زیاد این گیاه، بر رشد دام اثر منفی بگذارد. این گیاه را می‌توان بدون ایجاد اثرات منفی بر رشد و سلامت دام، تا ۲۵ درصد جیره گاوهایی که با علوفه تغذیه می‌شوند مصرف کرد با این‌حال، گیاه سبانیا سسبان خوش‌خوراکی مناسبی در جیره گوسفند و بز دارد (۶). در پژوهش‌های گوناگون مشخص شده است که می‌توان این علوفه را به‌عنوان منبع پروتئینی در جیره گوسفند (۵، ۷) و گاو (۶) به‌کار برد. تغذیه گوسفند با ۳۳ درصد از برگ و ساقه نازک این گیاه، افزایش وزن روزانه ۱۳۰ گرم را به‌دنبال داشت (۷). در پژوهشی، مقایسه میان گاز تولیدی در برگ چهار گونه مختلف سسبانیا و رقم‌های درون این گونه‌ها نشان داد که گاز تولیدی در این چهار گونه تفاوت معنی‌داری داشت، ضمن این‌که تنوع گاز تولیدی میان رقم‌های سسبانیا سسبان (میانگین ۵۴/۶ میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک با دامنه تولید گاز ۴۴/۹ تا ۶۳/۱ میلی‌لیتر) نیز بالا بود (۸). در بیش‌تر پژوهش‌های انجام شده، از برگ و یا مخلوط برگ و ساقه تازه گیاه بالغ سسبانیا استفاده شده است (۹، ۱۰، ۸). درحالی‌که به‌نظر می‌رسد چنان‌چه برداشت گیاه در زمان مناسب انجام شود ساقه‌های آن نیز می‌تواند به‌عنوان خوراک دام استفاده شود. پژوهش‌های انجام شده روی گیاه سسبانیا در ایران، بیش‌تر در زمینه مقاومت به شوری، اصلاح خاک شور (۱۱) و کشت مخلوط آن با دیگر گیاهان بوده و تاکنون پژوهشی در رابطه با ارزش تغذیه‌ای و گوارش‌پذیری علوفه گیاه سسبانیا در دام‌های نشخوارکننده در کشور دیده نشده است از این‌رو این پژوهش، با توجه به ویژگی مقاومت به شوری این گیاه و نیز عملکرد مناسب آن در هکتار، با هدف اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی و گوارش‌پذیری آزمایشگاهی گیاه سسبانیا در هفته‌های سوم تا نهم رشد انجام شد.

مواد و روش‌ها

گیاه سسبانیا در قطعه زمینی در مزرعه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت، در بهمن ۱۳۹۴ کشت شد. آبیاری به روش غرقابی و حذف علف هرز به‌روش دستی انجام شد. از هفته سوم تا هفته نهم رشد، نمونه‌گیری از گیاه کامل، برگ و ساقه انجام شد. نمونه‌ها، پس ازبرداشت، بی‌درنگ به آزمایشگاه منتقل و پس از خرد شدن به قطعات کوچک، برای اندازه‌گیری ماده خشک به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد درون آون (خشک‌کن) گذاشته شدند. سپس هریک از نمونه‌ها به‌طور جداگانه آسیاب شدند و از هر تیمار نمونه‌هایی برای اندازه‌گیری ترکیب شیمیایی و گوارش پذیری به‌روش تولید گاز، برداشته شد. کلیه اندازه‌گیری‌ها در سال ۹۵ در آزمایشگاه تغذیه دام دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت انجام شد. ترکیبات شیمیایی نمونه‌های خشک برگ، ساقه و گیاه کامل سسبانیا، شامل پروتئین خام (دستگاه کلدال، شرکت بهر، آلمان) و خاکستر مطابق روش‌های استاندارد ذکر شده توسط انجمن رسمی شیمی‌دانان تجزیه‌ای (۱۲)، و مقدار الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) و اسیدی (ADF) به‌روش Van Soest و همکاران اندازه‌گیری شد (۱۳). گوارش‌پذیری آزمایشگاهی، به‌روش آزمون تولید گاز انجام شد (۱۴). مقدار ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه‌های خشک آسیاب شده با

الک دو میلی‌متری درون شیشه‌هایی به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر (با ۳ تکرار برای هر نمونه) ریخته شد. شیرابه شکمبه از ۳ راس گوسفند بالغ که با جیره نگه‌داری شامل یونجه، کاه، جو و ذرت تغذیه شدند جمع‌آوری و تحت شرایط بی‌هوازی به سرعت به آزمایشگاه منتقل شد. پس از اندازه‌گیری pH و دمای شیرابه شکمبه بی‌درنگ، شیرابه شکمبه درون یک مخلوط‌کن برقی به‌مدت ۳۰ ثانیه مخلوط و سپس با پارچه صافی ۴ لایه صاف شد. سپس بافر هم دما (۱۴) با نسبت ۲ به ۱ (۲ بخش بافر و ۱ بخش مایع شکمبه) افزوده شد. در همه مراحل بالا، گاز دی‌اکسیدکربن برای ایجاد شرایط بی‌هوازی به محیط کشت دمیده شد. سپس ۳۰ میلی‌لیتر از آمیزه شیرابه شکمبه و بافر، درون شیشه‌های حاوی نمونه ریخته شد و بی‌درنگ گاز دی‌اکسید کربن برای تخلیه اکسیژن و کمک به ایجاد محیط بی‌هوازی در فضای بالای مایع درون شیشه‌های ۲۰۰ میلی‌لیتری دمیده شد. آن‌گاه درب شیشه‌ها به‌وسیله درپوش لاستیکی بسته و با روکش آلومینیومی، پلمپ شد. پس از آن شیشه‌ها در حمام آب گرم شیکردار با دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد گذاشته شدند. برای تصحیح گاز تولیدی ناشی از فعالیت شیرابه شکمبه، ۴ شیشه بلانک (حاوی شیرابه شکمبه و بافر و بدون نمونه) درون حمام آب گرم گذاشته شد. حجم گاز تولید با به‌کارگیری ستون آب در ساعت‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۴ و ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد به گونه‌ای که میزان جابجایی آب در ستون مدرج، حجم گاز تولیدی را نشان می‌داد (۱۵) برای کاهش خطای آزمایشی، آزمون تولید گاز به‌همین‌گونه در یک مرحله دیگر نیز تکرار شد. داده‌های به‌دست آمده از گاز تولیدی در هر شیشه در ساعات گوناگون، از میانگین گاز تولیدی در شیشه‌های بلانک در همان ساعت، کم شدند و به‌صورت داده‌های تجمعی محاسبه شدند. برای برازش داده‌های تجمعی تولید گاز با بهترین مدل، چندین مدل با به‌کارگیری نرم‌افزار Matlab 2018، بررسی و از میان این مدل‌ها، مدل Two-pool Gompertz که کم‌ترین جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و بیش‌ترین R2 را داشت برگزیده شد (جدول ۱). معادله مدل Two-pool Gompertz به‌قرار زیر است:

$$V=A1 \exp(-\exp(1-c1(t-L1))) + A2 \exp(-\exp(1-c2(t-L2)))$$

در این معادله V: کل گاز تجمعی تولیدی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) در زمان t (ساعت)، A1 و A2: حجم گاز تولیدی اسیمپتوتیک در اثر تخمیر بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) به‌ترتیب برای مخزن (کمپارتمنت) نخست (بخشی که به سرعت تخمیر می‌شود) و برای مخزن دوم (بخشی که به آهستگی تخمیر می‌شود)، c1 و c2: نرخ ثابت تولید گاز (h-1) به‌ترتیب برای مخزن نخست و دوم، و L1 و L2: زمان تأخیر فاز به ساعت (زمان اولیه تأخیر در آغاز تولید گاز) به‌ترتیب برای مخزن نخست و دوم است. گوارش‌پذیری ماده آلی (OMD)، انرژی قابل متابولیسم (ME) و میزان اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (SCFA) با استفاده از فرمول‌های زیر اندازه‌گیری شد:

OMD (درصد ماده خشک) = 14.88 + 0.889 GP24 +0.448 CP + 0.0651 Ash

ME (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک) = 2.2 + 0.1357GP24 + 0.0057 CP + 0.00002859 CP2 (۱۴)

SCFA (میلی‌مول) = 0.0222GP24 – 0.00425 (۱۶)

در این روابط GP24، حجم گاز تجمعی تولیدی پس از ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر در ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، CP، پروتئین خام (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) و Ash، خاکستر (گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک) است.

واکاوی آماری داده‌های به‌دست آمده از ترکیبات شیمیایی، آزمون تولیدگاز و تجزیه‌پذیری ماده خشک با نرم‌افزار آماری SAS (۱۷) با رویه مدل‌های خطی عمومی (GLM) انجام شد. مدل آماری به‌کاررفته به‌صورت زیر بود: $Yij = \mu + Ti + eij$

دراین مدل Yij، مقدار هر مشاهده، μ، میانگین کل، Ti، اثر تیمار و eij، خطای آزمایش بود. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد. در جداول نتایج، معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، ۰/۰۱ و ۰/۰۰۱ به‌ترتیب با یک، دو و سه ستاره نشان داده شده است.

جدول ۱: ویژگی‌های مدل‌های آزمون شده برای برازش داده‌های تولید گاز

مدل	RMSE*	R2	معادله£	منبع
اکسپونشیال	۰/۳۶۵۵	۰/۹۹۸۱	V=A (1-exp(-c (t-L))	۱۸
اکسپونشیال دومخزنی	۰/۲۵۹۹	۰/۹۹۸۹	V=A1(1-exp(-c1(t-L1)) + A2(1-exp(-c2(t-L2))	۱۸
گمپرتز	۱/۰۱۶۹	۰/۹۸۷۱	V=Aexp(-exp(1-c (t-L)))	۱۹
گمپرتز دو مخزنی	۰/۱۹۷۱	۰/۹۹۹۵	V=A1exp(-exp(1-c1(t-L1))) + A2exp(-exp(1-c2(t-L2)))	۱۹
لاجستیک	۱/۵۹۸۴	۰/۹۶۹۷	V=A/(1+exp(2-c (t-L)))	۲۰
لاجستیک دومخزنی	۰/۴۰۴۷	۰/۹۹۷۸	V=A1/(1+exp(2-c1(t-L1))) + A2/(1+exp(2-c2(t-L2)))	۲۰

* خطای جذر میانگین مربعات (Root mean square errors = $\sqrt{(\sum(\text{observed}-\text{predicted})^2/n)}$)، £ V: گاز تجمعی تولید شده (میلی‌لیتر) در زمان t (ساعت)، A: گاز اسیمپتومیک (میلی‌لیتر)، c: نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، L: زمان تأخیر فاز (ساعت)، در هر فراسنجه اندیس ۱ نمایانگر نخستین مخزن و اندیس ۲ نمایانگر دومین مخزن است.

نتایج

ترکیب شیمیایی: ترکیب شیمیایی بخش‌های گوناگون گیاه سسبانیا در جدول ۲ آمده است. مقدار ماده خشک با افزایش سن گیاه افزایش یافت (P<۰/۰۵). پس از ۷ هفته کشت این گیاه، درصد ماده‌خشک گیاه کامل حدود ۲۲ درصد بود که با درنظر گرفتن مقدار ۹/۳ درصدی خاکستر آن، نشان از میزان مناسب ماده آلی آن برای تغذیه دام دارد. با افزایش سن گیاه درصد پروتئین گیاه به گونه معنی‌داری کاهش و درصد NDF و ADF افزایش یافت (جدول ۲). درصد ماده خشک و درصد پروتئین در برگ در طول هفته‌های نمونه‌برداریِ مشابه، از گیاه کامل بیش‌تر بود(P<۰/۰۵) که در پژوهش دیگری(۲۱) نیز نتایج مشابهی گزارش شد. هم‌چنین بیش‌ترین درصد NDF و ADF در هفته‌های مشابهِ رشد، به‌ترتیب در ساقه، گیاه کامل و برگ دیده شد (P<۰/۰۵).

جدول۲: ترکیب شیمیایی گیاه کامل، برگ‌ها و ساقه گیاه سسبانیا در هفته سوم تا نهم کشت (درصد ماده خشک)

تیمار	هفته‌های رشد گیاه	ترکیب شیمیایی				
		ماده خشک	پروتئین	NDF	ADF	خاکستر
گیاه کامل	۳	۱۹/۶۵^{c}	۲۲/۶۸^{a}	۳۵/۶۶^{c}	۲۲/۲۵^{c}	۹/۸۰^{a}
	۵	۲۰/۲۶^{bc}	۲۲/۳۹^{a}	۴۱/۸۷^{b}	۲۵/۹۰^{b}	۱۰/۴۶^{a}
	۷	۲۱/۸۹^{b}	۲۰/۰۹^{b}	۴۴/۶۲^{a}	۳۲/۱۲^{a}	۹/۳۰^{b}
	۹	۲۴/۲۹^{a}	۱۷/۳۸^{c}	۴۶/۰۸^{a}	۳۵/۴۳^{a}	۱۰/۶۵^{a}
	SEM	۰/۶۶	۰/۳۴	۰/۸۷	۰/۷۳	۰/۷۷
	P-value	***	***	***	***	***
برگ	۳	۲۳/۷۶^{c}	۲۸/۳۸^{a}	۲۷/۶۴^{b}	۱۳/۶۳^{d}	۸/۷۶^{c}
	۵	۲۲/۲۸^{b}	۲۳/۲۷^{b}	۲۷/۵۲^{b}	۱۷/۱۱^{c}	۱۰/۷۶^{ab}
	۷	۲۹/۱۷^{a}	۲۲/۷۸^{b}	۲۸/۱۴^{ab}	۲۲/۹۹^{b}	۹/۰۰^{bc}
	۹	۳۰/۲۷^{a}	۲۱/۰۱^{c}	۲۹/۴۷^{a}	۲۵/۹۱^{a}	۱۲/۲۲^{a}
	SEM	۰/۳۷	۰/۳۱	۰/۵٤	۰/۸٤	۰/۵٦
	P-value	***	***	***	***	**
ساقه	۳	۱۶/۳۴^{bc}	۱۰/۴۱^{a}	۵۵/۱۶^{c}	۳۶/۹۰^{d}	۱۱/۴۷^{a}
	۵	۱۵/۲۵^{b}	۸/۸۴^{b}	۵۴/۲۴^{c}	۴۱/۴۲^{c}	۹/۵۵^{b}
	۷	۱۷/۵۰^{b}	۸/۲۵^{b}	۶۰/۷۲^{b}	۵۵/۸۴^{b}	۸/۰۰^{c}
	۹	۲۳/۳۹^{a}	۸/۰۵^{b}	۷۴/۰۵^{a}	۶۲/۷۶^{a}	۶/۵۴^{d}
	SEM	۰/۵۶	۰/۰۴	۰/۶۷	۰/۶۶	۰/۴۳
	P-value	***	***	***	***	***

a-d: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ستون تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین، NDF: فیبر نامحلول در شوینده خنثی، ADF: فیبر نامحلول در شوینده اسیدی

تولید گاز و فراسنجه‌های تولید گاز: داده‌های مربوط به گاز تولیدشده تجمعی ساعات گوناگون در گیاه کامل، برگ و ساقه سسبانیا در جدول‌های ۳ تا ۵ آمده است. برپایه یافته‌های این پژوهش، با افزایش سن، تولید گاز در گیاه کامل و نیز ساقه، در همه ساعات روند کاهشی معنی‌داری را نشان داد ولی در برگ تا ۶ ساعت اولیه (جدول ۴)، تفاوت معنی‌داری دیده نشد و پس از آن با افزایش سن، تولید گاز روند کاهشی داشت (P<۰/۰۵). مقایسه گاز تولیدی در بخش‌های گوناگون این گیاه نشان داد که بیش‌ترین گاز در برگ و کم‌ترین گاز در ساقه تولید شد. نتایج مربوط به فراسنجه‌های تولید گاز برای نمونه‌های مختلف گیاه سسبانیا در جدول‌های ۶ تا ۸ آمده است. حجم گاز تجمعی تولیدی ناشی از تجزیه بخش قابل‌تخمیر در بخش‌های سریع تجزیه (A1) و آهسته تجزیه (A2) و نیز کل گاز تولیدی (A1+A2) در گیاه کامل با افزایش سن، روند کاهشی معنی‌داری را نشان داد (جدول ۶). این روند کاهشی تولید گاز با افزایش سن گیاه برای فراسنجه‌های A1 و A2 در برگ نیز دیده شد ولی به لحاظ

آماری معنی‌دار نبود؛ اما کل گاز تولیدی (A1+A2) با افزایش سن، در برگ نیز به گونه معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۷). در ساقه، از میان فراسنجه‌های تخمیر، تنها گاز تولیدی از بخش آهسته تجزیه (A1) و کل گاز تولیدی (A1+A2) تحت تأثیر افزایش سن گیاه قرار گرفتند؛ هر چند گاز تولید شده از بخش سریع تجزیه و نیز کل گاز تولیدی تا هفته هفتم در ساقه تغییر معنی‌داری نداشت و تنها در هفته نهم، تولید گاز کاهش یافت (P<۰/۰۵).

جدول ۳: میانگین کم‌ترین مربعات حجم گاز تولیدی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) در گیاه کامل سسبانیا در هفته‌های مختلف کشت

ساعت‌های انکوباسیون	هفته‌های رشد گیاه				SEM	*P*-value
	۳	۵	۷	۹		
۲	۳/۲۷^{a}	۳/۰۲^{ab}	۲/۹۰^{ab}	۲/۶۹^{b}	۰/۱۳	**
۴	۸/۰۸^{a}	۷/۵۵^{a}	۷/۲۱^{ab}	۶/۵۳^{b}	۰/۲۲	***
۶	۱۲/۶۸^{a}	۱۱/۹۰^{ab}	۱۱/۱۵^{bc}	۱۰/۱۸^{c}	۰/۳۳	***
۸	۱۶/۸۱^{a}	۱۵/۸۱^{ab}	۱۴/۸۱^{bc}	۱۳/۶۵^{c}	۰/۳۳	***
۱۰	۲۰/۳۳^{a}	۱۸/۹۳^{b}	۱۷/۹۵^{bc}	۱۶/۷۵^{c}	۰/۳۱	***
۱۲	۲۳/۲۹^{a}	۲۱/۴۹^{b}	۲۰/۴۶^{bc}	۱۸/۹۸^{c}	۰/۳۶	***
۱۶	۲۷/۴۵^{a}	۲۵/۶۳^{b}	۲۳/۸۸^{c}	۲۲/۲۵^{d}	۰/۲۸	***
۲۰	۳۰/۲۲^{a}	۲۸/۳۹^{b}	۲۶/۳۴^{c}	۲۴/۶۵^{d}	۰/۳۸	***
۲۴	۳۲/۴۳^{a}	۳۰/۵۱^{a}	۲۷/۸۰^{b}	۲۶/۴۶^{b}	۰/٤٦	***
۴۸	۳۷/۷۷^{a}	۳۵/۸۹^{a}	۳۲/۶۷^{b}	۳۱/۰۲^{b}	۰/۶۷	***

a-d: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین

جدول ۴: میانگین کم‌ترین مربعات حجم گاز تولیدی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) در برگ گیاه سسبانیا در هفته‌های مختلف کشت

ساعت‌های انکوباسیون	هفته‌های رشد گیاه				SEM	*P*-value
	۳	۵	۷	۹		
۲	۳/۲۴	۳/۰۵	۲/۸۷	۲/۸۲	۰/۳۱	NS
۴	۸/۹۵	۸/۴۸	۸/۲۶	۸/۰۱	۰/۳۶	NS
۶	۱۳/۶۹	۱۲/۹۵	۱۲/۷۳	۱۲/۲۳	۰/۴۳	NS
۸	۱۷/۷۸^{a}	۱۷/۰۵^{ab}	۱۶/۵۳^{ab}	۱۵/۹۸^{b}	۰/۴۴	***
۱۰	۲۱/۳۰^{a}	۲۰/۴۱^{a}	۱۹/۹۳^{ab}	۱۹/۱۸^{ab}	۰/۳۶	***
۱۲	۲۴/۲۲^{a}	۲۳/۰۹^{b}	۲۱/۱۲^{bc}	۲۱/۷۹^{c}	۰/۲۷	***
۱۶	۲۸/۱۵^{a}	۲۶/۸۷^{b}	۲۵/۸۵^{c}	۲۵/۴۵^{c}	۰/۲۵	***
۲۰	۳۰/۶۲^{a}	۲۹/۷۵^{ab}	۲۸/۵۲^{bc}	۲۸/۰۷^{c}	۰/۳۱	***
۲۴	۳۳/۰۵^{a}	۳۲/۵۰^{a}	۳۰/۴۸^{b}	۳۰/۱۱^{b}	۰/۴۰	***
۴۸	۳۹/۸۵^{a}	۳۹/۴۹^{a}	۳۶/۲۵^{b}	۳۵/۲۵^{b}	۰/۵۹	***

a-d: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین

جدول ۵: میانگین کم‌ترین مربعات حجم گاز تولیدی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک) در ساقه گیاه سسبانیا در هفته‌های مختلف کشت

ساعت‌های انکوباسیون	هفته‌های رشد گیاه				SEM	P-value
	۳	۵	۷	۹		
۲	۲/۵۵^{a}	۲/۴۴^{ab}	۲/۰۹^{ab}	۲/۰۰^{b}	۰/۱۲	**
۴	۶/۸۰^{a}	۶/۶۱^{a}	۵/۹۶^{ab}	۴/۸۹^{b}	۰/۴۸	*
۶	۱۰/۳۸^{a}	۱۰/۰۶^{a}	۹/۳۸^{ab}	۷/۱۹^{b}	۰/۷۸	*
۸	۱۴/۱۵^{a}	۱۳/۵۰^{a}	۱۲/۷۵^{a}	۹/۷۸^{b}	۰/۹۹	*
۱۰	۱۷/۰۳^{a}	۱۶/۴۳^{a}	۱۴/۸۶^{ab}	۱۱/۸۰^{b}	۱/۰۳	***
۱۲	۱۹/۱۳^{a}	۱۸/۶۱^{a}	۱۶/۵۳^{ab}	۱۱/۲۲^{b}	۱/۱۵	***
۱۶	۲۲/۳۳^{a}	۲۱/۴۲^{a}	۱۹/۳۰^{ab}	۱۵/۴۰^{b}	۱/۲۳	***
۲۰	۲۴/۷۴^{a}	۲۳/۵۰^{a}	۲۱/۱۹^{ab}	۱۶/۹۹^{b}	۱/۲۱	***
۲۴	۲۶/۲۱^{a}	۲۴/۹۳^{a}	۲۲/۶۵^{ab}	۱۸/۱۵^{b}	۱/۳۱	***
۴۸	۲۹/۵۴^{a}	۲۷/۸۷^{a}	۲۵/۹۲^{a}	۲۰/۶۰^{b}	۱/۵۵	***

a-d: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین

جدول ۶: میانگین کم‌ترین مربعات فراسنجه‌های تولید گاز در هفته‌های مختلف برداشت گیاه کامل سسبانیا

فراسنجه[£]	هفته‌های رشد گیاه				SEM	*P*-value
	۳	۵	۷	۹		
A_1	۲۷/۷۱[a]	۱۸/۳۶[b]	۱۸/۹۳[bc]	۱۸/۲۸[bc]	۱/۳۳	***
c_1	۰/۰۸۹	۰/۱۱۹	۰/۱۱۴	۰/۱۰۸	۰/۰۰۹	NS
L_1	۰/۹۴۶	۰/۹۴۴	۰/۹۴۷	۱/۰۲۰	۰/۰۹۹	NS
A_2	۱۱/۲۶[b]	۱۷/۹۳[a]	۱۳/۹۴[ab]	۱۳/۲۱[ab]	۱/۷۷	*
c_2	۰/۰۵۳	۰/۰۴۰	۰/۰۳۹	۰/۰۳۹	۰/۰۰۵	NS
L_2	۷/۷۳	۵/۸۹	۶/۱۶	۷/۲۸	۰/۷۰	NS
کل گاز تولیدی	۳۸/۹۷[a]	۳۶/۳۰[b]	۳۲/۸۷[c]	۳۱/۵۰[c]	۰/۷۷	***
ME	۶/۷۵[a]	۶/۴۸[b]	۶/۱۱[c]	۵/۹۰[c]	۰/۶۳	***
OMD	۵۱/۱۱[a]	۴۹/۸۳[a]	۴۴/۴۹[b]	۴۶/۱۲[b]	۰/۴۱	***
SCFA	۰/۷۲[a]	۰/۶۷[a]	۰/۶۱[b]	۰/۵۸[b]	۰/۰۱	***

a-c: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین، [£] A_1, c_1, L_1: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش سریع تجزیه؛ A_2, c_2, L_2: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش آهسته تجزیه؛ کل گاز تولیدی: (A1+A2)؛ ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول به‌ازای کیلوگرم ماده خشک)، OMD: گوارش‌پذیری ماده خشک (درصد ماده خشک)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (میلی‌مول)

جدول ۷: میانگین کم‌ترین مربعات فراسنجه‌های تولید گاز در هفته‌های مختلف برداشت برگ گیاه سسبانیا

فراسنجه[£]	هفته‌های رشد گیاه				SEM	*P*-value
	۳	۵	۷	۹		
A_1	۲۱/۳۷	۲۰/۴۲	۱۸/۶۹	۱۹/۳۶	۰/۷۰	NS
c_1	۰/۱۱۹	۰/۱۲۲	۰/۱۳۰	۰/۱۲۲	۰/۰۰۵	NS
L_1	۰/۹۹۳	۱/۰۱۶	۱/۰۴۰	۱/۰۱۱	۰/۰۹۵	NS
A_2	۱۹/۳۹	۱۹/۹۰	۱۸/۰۹	۱۶/۳۲	۰/۹۳	NS
c_2	۰/۰۳۷	۰/۰۳۷	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۰۱	NS
L_2	۶/۶۳	۶/۹۶	۵/۹۳	۶/۳۱	۰/۲۸	NS
کل گاز تولیدی	۴۰/۷۷[a]	۴۰/۳۲[a]	۳۶/۷۵[b]	۳۶/۶۸[b]	۰/۶۶	***
ME	۶/۸۷[a]	۶/۷۶[a]	۶/۴۸[b]	۶/۴۲[b]	۰/۰۵	***
OMD	۴۶/۵۹[a]	۴۵/۷۰[a]	۴۶/۱۲[a]	۴۳/۴۰[b]	۰/۳۵	***
SCFA	۰/۷۳[a]	۰/۷۲[a]	۰/۶۷[b]	۰/۶۶[b]	۰/۰۰۰۹	***

a-c: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین، [£] A_1, c_1, L_1: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش سریع تجزیه؛ A_2, c_2, L_2: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش آهسته تجزیه؛ کل گاز تولیدی: (A1+A2)؛ ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول به‌ازای کیلوگرم ماده خشک)، OMD: گوارش‌پذیری ماده خشک (درصد ماده خشک)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (میلی‌مول)

جدول۸: میانگین کم‌ترین مربعات فراسنجه‌های تولید گاز در هفته‌های مختلف برداشت ساقه گیاه سسبانیا

فراسنجه[£]	هفته‌های رشد گیاه				SEM	*P*-value
	۳	۵	۷	۹		
A_1	۱۶/۵۰[a]	۱۶/۶۶[a]	۱۵/۸۶[a]	۹/۹۱[b]	۱/۶۶	*
c_1	۰/۱۲۲	۰/۱۲۰	۰/۱۱۱	۰/۱۴۵	۰/۰۱۶	NS
L_1	۰/۹۴۴	۰/۹۵۲	۱/۱۱۵	۰/۷۴۵	۰/۰۹۳	NS
A_2	۱۳/۲۳	۱۲/۲۵	۹/۵۸	۱۰/۸۶	۱/۳۳	NS
c_2	۰/۰۴۵	۰/۰۴۵	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸	۰/۰۰۴	NS
L_2	۵/۸۲	۵/۴۵	۶/۳۲	۵/۰۱	۰/۵۵	NS
کل گاز تولیدی	۲۹/۷۳[a]	۲۸/۹۱[a]	۲۶/۸۱[a]	۲۰/۷۶[b]	۱/۵۷	**
ME	۵/۸۲[a]	۵/۶۴[a]	۵/۳۲[a]	۴/۷۱[b]	۰/۱۸	***
OMD	۳۹/۴۱[a]	۳۸/۰۷[a]	۳۵/۹۱[a]	۳۱/۸۸[b]	۱/۱۷	***
SCFA	۰/۵۸[a]	۰/۵۵[a]	۰/۵۰[a]	۰/۴۰[b]	۰/۰۳	***

a-c: میانگین‌های دارای حروف ناهمانند در هر ردیف تفاوت معنی‌داری دارند (P<۰/۰۵)، SEM: خطای استاندارد از میانگین، [£] A_1, c_1, L_1: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش سریع تجزیه؛ A_2, c_2, L_2: به‌ترتیب گاز اسیمپتوتیک تجمعی (میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)، نرخ ثابت تولید گاز (بر ساعت)، و زمان تأخیر فاز (ساعت) بخش آهسته تجزیه؛ کل گاز تولیدی: (A1+A2)؛ ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول به‌ازای کیلوگرم ماده خشک)، OMD: گوارش‌پذیری ماده خشک (درصد ماده خشک)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیره (میلی‌مول)

بحث

ترکیب شیمیایی: علوفه‌های لگومینوز در مقایسه با گرامینه‌ها، به‌علت داشتن درصد پروتئین و گوارش‌پذیری بالاتر، کاربرد فراوانی در تغذیه دام‌های نشخوارکننده دارند (۲۲). در پژوهش حاضر، مقدار پروتئین خام در هفته‌های سوم و نهم، در گیاه کامل به‌ترتیب ۲۲/۷ و ۱۷/۴ درصد و در برگ ۲۸/۴ و ۲۱/۰ درصد بود. در پژوهش‌های دیگر، میانگین غلظت پروتئین خام در برگ چند رقم گیاه سسبانیا سسبان ۲۵/۱ (۸)، ۲۴/۰ (۹) و ۲۵/۹ درصد (۱۰) گزارش شده‌است. طبق یافته‌های پژوهش کنونی، مقدار پروتئین خام در گیاه کامل از هفته سوم تا پنجم تفاوتی نداشت ولی پس از آن (تا هفته نهم) کاهش یافت (P<۰/۰۵)، که این روند کاهشی درصد پروتئین، با افزایش سن گیاه در برگ و ساقه نیز دیده شد. درصد پروتئین خام برگ در هفته سوم و نهم رشد، به‌ترتیب ۲۸/۴ و ۲۱/۰ درصد بود. بیش‌تر گزارش‌ها نشان از آن دارد که مقدار پروتئین خام برگ گیاه سسبانیا از ۲۰ درصد بیش‌تر است که با افزایش سن گیاه از تراکم پروتئین آن کاسته می‌شود (۲۱). موافق با یافته‌های پژوهش کنونی، کاهش غلظت پروتئین گیاه با افزایش سن، در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده است (۲۳، ۲۴). در پژوهشی، مقایسه ترکیب شیمیایی برگ و گیاه کامل سسبانیا نشان داد که مقدار پروتئین برگ و کل گیاه به ترتیب ۲۹/۷ و ۲۲/۸ درصد بود (۲۱) که اعداد آن نزدیک به مقادیر به‌دست آمده در پژوهش حاضر بود. سهم پروتئین در برگ لگوم‌ها همواره بیش‌تر از ساقه و نیز کل گیاه بوده و تقریباً دو برابر پروتئین ساقه است و این تفاوت، با رشد گیاه افزایش می‌یابد که این امر به دلیل نرخ سریع‌تر کاهش غلظت پروتئین در ساقه است. سن، اثر کاهشی شایانی بر غلظت پروتئین گیاه دارد. کاهش پروتئین با افزایش بلوغ به‌دلیل افزایش در رشد ساقه، پیری برگ‌ها و افتادن آن‌ها رخ می‌دهد؛ هم‌چنین، با افزایش سن گیاه، نسبت پوشش خارجی برگ و ساقه‌های گل‌دار، که مقدار پروتئین کم‌تری نسبت به برگ دارند، افزایش می‌یابد (۲۳). محتوای NDF گیاه کامل با رشد گیاه تا هفته هفتم افزایش یافت (P<۰/۰۵)؛ اما بین مقدارNDF گیاه کامل در هفته هفتم و نهم تفاوتی وجود نداشت. غلظت NDF برگ تنها در هفته‌نهم رشد افزایش معنی‌داری در مقایسه با هفته‌های سوم و پنجم نشان داد درحالی‌که NDF ساقه در هفته‌های هفتم و نهم بالاتر از مقدار آن در هفته‌های سوم و پنجم بود (P<۰/۰۵). مقدار ADF در گیاه کامل تا هفته هفتم و در برگ و ساقه تا هفته نهم افزایش یافت (P<۰/۰۵). میزان دیواره سلولی گیاه با افزایش سن و مرحله بلوغ، افزایش می‌یابد (۲۴). با افزایش سن گیاه، فرآورده‌های فتوسنتز با سرعت بیش‌تری به ترکیبات ساختمانی به‌ویژه کربوهیدرات‌ها تبدیل می‌شوند بنابراین افزایش سن اثر کاهشی بر مقدار پروتئین و کربوهیدرات‌های محلول و اثر افزایشی بر دیواره سلولی (غلظت NDF و ADF) گیاه دارد (۲۵). مقدار خاکستر گیاه کامل در هفته هفتم رشد کاهش یافت (P<۰/۰۵) درحالی‌که خاکستر برگ در هفته نهم در مقایسه با هفته‌های سوم و هفتم بالاتر بود (P<۰/۰۵). با این حال، با افزایش سن، خاکستر ساقه روند کاهشی داشت و از ۱۱/۴۷ درصد در هفته سوم به ۶/۵۴ درصد در هفته نهم رسید. رسوب بیش‌تر کربوهیدرات‌های ساختاری مانند سلولز و همی‌سلولز در ساقه با افزایش سن گیاه می‌تواند از دلایل کاهش خاکستر باشد (۲۵، ۲۴). غلظت‌های بالاتر NDF و ADF ساقه در هفته نهم در مقایسه با هفته‌های سوم و پنجم موید این نتایج است.

تولید گاز: تولید گاز نشان‌دهنده نرخ و میزان تجزیه‌پذیری مواد آلی است که افزایش فیبر جیره بر گوارش‌پذیری ماده آلی و تولید گاز تأثیر منفی می‌گذارد (۲۶). نشان‌داده شده است که کاهش تولید گاز در برگ گیاهان، با افزایش میزان فیبر در گیاه ارتباط دارد (۲۷) که این کاهش تولید گاز می‌تواند ناشی از محدود کردن دسترسی جمعیت میکروبی به موادآلی تجزیه‌پذیر توسط فیبر گیاه باشد (۲۸). برای مقایسه منحنی تولید گاز لازم است که داده‌ها با یک مدل ریاضی برازش شوند (۲۹). مدل‌های ارایه شده با و یا بدون فاز تأخیر بیان می‌شوند (۳۰). از میان مدل‌های بسیاری که تاکنون ارایه شده است؛ داده‌های آزمایش کنونی به‌خوبی با مدل دومخزنی (دوکمپار تمنتی) گمپرتز برازش شد؛ به گونه‌ای که کم‌ترین RMSE (۰/۲) و بیش‌ترین R^2 (۰/۹۹<) را داشت. داده‌های تجزیه‌پذیری و تولید گاز غالباً با مدل اکسپوننشیال(نمایی) که تنها مدل غیرسیگموییدی است (۱۸) برازش می‌شوند (جدول ۱). این مدل برپایه کینتیک درجه اول و با این فرض ارایه شده که نرخ (سرعت) تخمیر ثابت است (۳۱). در این مدل، بخش سریع تجزیه در بسیاری از موارد به‌ویژه برای خوراک‌های باکیفیت پایین و فیبری، مقادیر منفی را نشان می‌دهد درحالی‌که مدل گمپرتز، مدل مناسب‌تری از نظر بیولوژیکی به نظر می‌رسد (۳۲). در پژوهشی که به مقایسه چندین مدل پرداخته بود تنها مدل گمپرتز که تولید گاز را به دو بخش تند تخمیر و بخش آهسته تخمیر تقسیم می‌کند، بهترین مدل برای توصیف داده‌های تولید گاز در خوراک‌های مختلف شناخته شد (۳۰). مقایسه میان کل گاز تولیدی (A) به‌دست آمده از مدل اکسپوننشیال (۱۸) در برگ تازه چهار گونه مختلف سسبانیا و رقم‌های درون این گونه‌ها، نشان‌داد که گاز تولیدی در این ۴ گونه تفاوت معنی‌داری داشت ضمن این‌که تنوع گاز تولیدی میان رقم‌های سسبانیا سسبان (میانگین ۵۴/۶ میلی‌لیتر به‌ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک با دامنه تولید گاز ۴۴/۹ تا ۶۳/۱ میلی لیتر) نیز بالا بود (۸). در پژوهش حاضر کل گاز

تولیدی ($A_1+ A_2$) در برگ در هفته هفتم و نهم به‌ترتیب ۳۶/۷۵ و ۳۶/۶۸ میلی‌لیتر بود (جدول ۷). مشخص شده است که میان میزان تولید گاز و ترکیب شیمیایی سوبسترا همبستگی بالایی (همبستگی مثبت با مقدار پروتئین و همبستگی منفی با میزان فیبر سوبسترا) وجود دارد درحالی‌که همبستگی میان نرخ تولید گاز و ترکیب شیمیایی پایین است (۲۵، ۸). در پژوهش کنونی، کاهش گاز تولیدی با افزایش سن را می‌توان به کاهش درصد پروتئین و نیز افزایش فیبر گیاه نسبت داد. در پژوهشی که روی چندین جنس سسبانیا و نیز رقم‌های سسبانیا سسبان انجام شد، مشخص شد که میزان فیبر تأثیر منفی بر تولید گاز دارد به گونه‌ای که ۷۰ درصد تنوع در تولید گاز در گیاه سسبانیا را می‌توان با میزان NDF به‌ویژه مقدار لیگنین و همی‌سلولز توضیح داد. اثر منفی قوی‌تر لیگنین و همی‌سلولز به‌دلیل این واقعیت است که لیگنین در مقایسه با سلولز پیوند مستحکم‌تری با همی‌سلولز برقرار می‌کند (۸). هم‌چنین مشخص شده است که کینتیک تخمیر خوراک می‌تواند تحت تأثیر بخش کربوهیدرات‌ها قرار گیرد و تولید گاز حاصل از تخمیر خوراک ارتباط نزدیکی با بخش کربوهیدرات خوراک دارد (۳۳). به‌ویژه کاهش NDF و ADF و افزایش محتوای کربوهیدرات‌های غیرالیافی مواد خوراکی به‌وضوح سبب تولید بیش‌تر گاز در شرایط آزمایشگاهی می‌شود (۳۴). نرخ ثابت تولید گاز در هر دو بخش (c_1 و c_2) و نیز زمان تأخیر فاز برای هر دو بخش (L_1 و L_2) در گیاه کامل، برگ و ساقه تحت تأثیر افزایش سن قرار نگرفت ($P<0/05$، جدول ۶ تا ۸). در مدل گمپرتز نیز همانند دیگر مدل‌ها، داده‌ها با و یا بدون فاز تأخیر بیان می‌شوند (۳۰). فاز تأخیر، زمانی است که در آغاز آزمایش گاز تولید نمی‌شود. عمده‌ترین فرایندی که در طول فاز تأخیر رخ می‌دهد آبگیری (هیدراتاسیون) سوبسترا، اتصال و کلونیزه شدن (تجمع پیدا کردن) باکتری‌ها به سوبستراست (۲۹). به‌نظر می‌رسد عدم تفاوت در میزان فاز تأخیر در هر دو بخش سریع و آهسته تجزیه می‌تواند به‌دلیل فراهم بودن شرایط و سوبسترای لازم برای آغاز فعالیت میکروب‌ها و تولید گاز باشد. فراسنجه‌های ME، OMD و SCFA در گیاه کامل، برگ و ساقه با افزایش رشد گیاه کاهش یافت ($P<0/05$). مشخص شده است که میزان انرژی قابل متابولیسم به ترکیب گیاه به‌ویژه به‌میزان پروتئین و کربوهیدرات‌های آن بستگی دارد (۳۵). انرژی قابل متابولیسم با گاز تولیدی تجمعی پس از ۲۴ ساعت و نیز درصد پروتئین (۱۴) رابطه مستقیم داشته و با دیواره سلولی گیاه به گونه منفی در ارتباط است (۳۶). هم‌چنین تولید گازِ بیش‌تر، می‌تواند نشانه تولید بالاتر SCFA باشد. در مطالعه کنونی کاهش ME با افزایش سن گیاه می‌تواند در نتیجه کاهش تولید گاز و کاهش درصد پروتئین و نیز افزایش میزان دیواره سلولی در طول رشد باشد. کاهش SCFA نیز به‌دلیل کاهش تولید گاز (۱۴) در طول رشد گیاه بوده که در مطالعات دیگر نیز مشاهده شده است (۳۷). نشان داده شده است که کل گاز تولیدی (اسیمپتوتیک) با گوارش‌پذیری رابطه نزدیکی داشته و بین درصد OMD و میزان فیبر گیاه همبستگی منفی وجود دارد (۲۹). هم‌چنین درصد پروتئین می‌تواند بر میزان OMD اثر مثبت بگذارد (۲۱). در آزمایش کنونی با افزایش سن گیاه درصد پروتئین و میزان گاز تولیدی کاهش و میزان فیبر افزایش یافت که این عوامل می‌توانند دلیل کاهش درصد OMD در طول رشد گیاه باشند. در پژوهشی دامنه میزان ME و درصد OMD اندازه‌گیری شده به‌روش تولید گاز در چندین نوع یونجه به‌ترتیب ۸/۶۷ تا ۹/۷۶ مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک و ۵۹/۱۵ تا ۶۴/۹۷ بود (۳۸) اما Farivar و همکاران، میزان ME و درصد OMD یونجه را به‌ترتیب ۱۰/۶۰ مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک و ۷۱/۱۶ گزارش کردند (۳۹). در پژوهش کنونی میزان ME و درصد OMD در گیاه کامل در هفته هفتم رشد به‌ترتیب ۶/۱۱ مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک و ۴۴/۴۹ بود (جدول ۶). با توجه به مقاومت بالای گیاه سسبانیا به شوری و نیز مقدار مناسب پروتئین آن به‌نظر می‌رسد این گیاه می‌تواند خوراک مناسبی برای برآورده کردن نیاز دام به ویژه دام‌های بومی مناطق گرمسیری باشد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که با درنظر گرفتن مقدار ماده خشک تولیدی، مناسب‌ترین زمان برداشت این گیاه چندساله به‌عنوان گیاه کامل، هفته هفتم کشت بوده و در این زمان گیاه کامل سسبانیا با دارا بودن پروتئین بالای ۲۰ درصد و دیواره سلولی مناسب، می‌تواند نیاز دام را به آسانی برآورده کند. فزون بر این برگ و سرشاخه‌های جوان این گیاه را نیز از هفته هفتم کشت به بعد می‌توان در خوراک دام به‌کاربرد.

منابع

1. **Nigussie, Z. and Alemayehu, G., 2013.** *Sesbania sesban* (L.) Merrill: Potential uses of an underutilized multipurpose tree in Ethiopia. African Journal of Plant Science. 7: 468-475.
2. **Taei, M., Roozkhosh, M. and Jokar, M., 2014.** Investigating different methods of breaking dormancy of Sesbania (*Sesbania Sesban*) seeds. The first national conference on agriculture, environment and food security, Jiroft. (In Persian)
3. **Goswami, S., Mishra, K., Singh, R.P., Singh, P. and Singh, P., 2016.** *Sesbania sesban* a plant with diverse therapeutic benefits: an overview. SGVU Journal of Pharmaceutical Research & Education. 1: 111-121.
4. **Oosting, S.J., Mekoya, A., Fernandez-Rivera, S. and Van der Zijpp, A., 2011.** *Sesbania sesban* as a fodder tree in Ethiopian livestock farming systems: Feeding practices and

farmers' perception of feeding effects on sheep performance. Livestock Science. 139: 135-141.

5. **Kaitho, R., Umunna, N., Nsahlai, I., Tamminga, S. and Van Bruchem, J., 1998.** Utilization of browse supplements with varying tannin levels by Ethiopian Menz sheep: 1. Intake, digestibility and live weight changes. Agroforestry systems. 39: 145-159.

6. **Tessema, Z. and Baars, R., 2004.** Chemical composition, *in vitro* dry matter digestibility and ruminal degradation of Napier grass (*Pennisetum purpureum* (L.) Schumach.) mixed with different levels of *Sesbania sesban* (L.) Merr. Animal Feed Science and Technology. 117: 29-41.

7. **Manaye, T., Tolera, A. and Zewdu, T., 2009.** Feed intake, digestibility and body weight gain of sheep fed Napier grass mixed with different levels of *Sesbania sesban*. Livestock Science. 122: 24-29.

8. **Nsahlai, I., Siaw, D. and Osuji, P., 1994.** The relationships between gas production and chemical composition of 23 browses of the genus *Sesbania*. Journal of the Science of Food and Agriculture. 65: 13-20.

9. **Bonsi, M., Osuji, P. and Tuah, A., 1995.** Effect of supplementing teff straw with different levels of leucaena or sesbania leaves on the degradabilities of teff straw, sesbania, leucaena, tagasaste and vernonia and on certain rumen and blood metabolites in Ethiopian Menz sheep. Animal Feed Science and Technology. 52: 101-129.

10. **El hassan, S.M., Lahlou Kassi, A., Newbold, C.J. and Wallace, R.J., 2000.** Chemical composition and degradation characteristics of foliage of some African multipurpose trees. Animal Feed Science and Technology. 86: 27-37.

11. **Mazloom, N., Khorassani, R., Fotovat, A. and Hasheminezhad, Y., 2014.** Phytoremediation of Saline Sodic Soils by *Sesbania acuelata*, *Rubia tinctorum* and *Cynodon dactylon* Compared to Chemical Methods. Journal of Water and Soil Science. 17(66): 97-106. (In Persian)

12. **AOAC. 2005.** Official Methods of Analysis of AOAC international. AOAC international. Washington DC. USA.

13. **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. Journal of Dairy Science. 74: 3583-3597.

14. **Menke, K.H. and Steingass, H., 1988.** Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid. Animal research and development. 28: 7-55.

15. **Fedorah, P.M. and Hrudey, S.E., 1983.** A simple apparatus for measuring gas production by methanogenic cultures in serum bottles. Environmental Technology. 4: 425-432.

16. **Getachew, G., Makka, H. and Becker, K., 2002.** Tropical browses: contents of phenolic compounds, *in vitro* gas production and stoichiometric relationship between short chain fatty acid and *in vitro* gas production. The Journal of Agricultural Science. 139: 341-352.

17. **SAS. 2003.** Statistical Analysis Systems Institute. Version 9.2 SAS Institute Inc., Cary, NC.

18. **Ørskov, E.R. and McDonald, I., 1979.** The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to the rate of passage. Journal of Agricultural Science. 92: 449-503.

19. **Schofield, P., Pitt, R.E. and Pell, A.N., 1994.** Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. Journal of Animal Science. 72: 2980-2991.

20. **Wang, M., Tang, S. and Tan, Z., 2011.** Modeling *in vitro* gas production kinetics: Derivation of Logistic–Exponential (LE) equations and comparison of models. Animal Feed Science and Technology. 165: 137-150.

21. **Debela, E., Tolera, A., Eik. L.O. and Salte, R., 2011.** Nutritive value of morphological fractions of *Sesbania sesban* and *Desmodium intortum*. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 14: 793-805.

22. **Tolera, A., Khazaal, K. and Ørskov, E.R., 1997.** Nutritive evaluations of some forage species. Animal Feed Science and Technology. 67: 181-195.

23. **Mupangwa, J.F., Ngongoni, N.T. and Hamudikuwanda, H., 2006.** The effect of stage of growth and method of drying fresh herbage on chemical composition of three tropical herbaceous forage legumes. Tropical and Subtropical Agroecosystem. 6: 23-30.

24. **Peiretti, P.G. and Gai, F., 2006.** Chemical composition, nutritive value, fatty acid and amino acid contents of *Galega officinalis* L. during its growth stage and in regrowth. Animal Feed Science and Technology. 130: 257-267.

25. **Ammar, H., López, S., González, J.S. and Ranilla M.J., 2004.** Chemical composition and in vitro digestibility of some Spanish browse plant species. Journal of the Science of Food and Agriculture. 84: 197-204.

26. **Becho, M.B., 2016.** Nutritional Evaluation of Major Browse Species from Afar and Borana Rangelands and Supplementary Values of *Acacia tortilis* leaves to Arsi-Bale Goats. Ph.D. Dissertation Hawassa University, Ethiopia.

27. **Edwards, A., Mlambo, V., Lallo, C.H.O., Garcia, G.W. and Diptee, M.D., 2012.** *In vitro* ruminal fermentation of leaves from three tree forages in response to incremental levels of polyethylene glycol. Open Journal of Animal Sciences. 2: 142.

28. **McDonald, P.R.A., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. and Morgan, C.A., 2002.** Animal Nutrition (^{6}th edition). Pearson Educational Limited. Edinburgh. Great Britain.

29. **Beuvink, J.M., 1993.** Measuring and modelling in-vitro gas production kinetics to evaluate ruminal fermentation of feedstuffs. Ph.D. Dissertation Wageningen University, Netherland.

30. **Beuvink, J. and Kogut, J., 1993.** Modeling gas production kinetics of grass silages incubated with buffered ruminal fluid. Journal of Animal Science. 71: 1041-1046.
31. **Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. and Becker, K., 1998.** *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. Animal Feed Science and Technology. 72: 261-281.
32. **Lavrenčič, A., Stefanon, B. and Susmel, P., 1997.** An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. Animal Science. 64: 423-431.
33. **Deaville, E.R. and Givens, D.I., 2001.** Use of the automated gas production technique to determine the fermentation kinetics of carbohydrate fractions in maize silage. Animal Feed Science and Technology. 93: 205-215.
34. **Naraghi Rad, Z., Ghoreishi, S.M. and Kargar, Sh., 2021.** Chemical Composition and in Vitro Digestibility of Pomegranate Byproducts in Ruminant diet. Journal of Animal Environment. 13(2): 67-74. (In Persian)
35. **Bahrampour, J. and Mousaei, A., 2020.** The determination of nutrients composition, ferment ability and gas production parameters of *Lawsonia inermis* leaves for animal nutrition. Journal of Animal Environment. 12(4): 79-84.
36. **Mountousis, I., Papanikolaou, K., Stanogias, G., Chatzitheodoridis, F. and Roukos, C., 2008.** Seasonal variation of chemical composition and dry matter digestibility of rangelands in NW Greece. Journal of Central European Agriculture. 9: 547-555.
37. **Sisayy, A., Negesse, T. and Nurfeta, A., 2018.** Short chain fatty acid production, organic matter digestibility and metabolisable energy content of indigenous browses from Ethiopian Rift Valley. IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. 11: 61-68.
38. **Kamalak, A., Canbolat, O., Erol, A., Kilinc, C., Kizilsimsek, M., Ozkan, C.O. and Ozkose, E., 2005.** Effect of variety on chemical composition, *in vitro* gas production, metobolizable energy and organic matter digestibility of alfalfa hays. Livestock Research for Rural Development. 17, Article #77. Retrieved April 17, 2021, from http://www.lrrd.org/lrrd17/7/kama17077.htm
39. **Farivar, F., Torbatinejad, N., Jafari Ahangari, Y., Hasani, S., Gharebash, A. and Mohajer, M., 2014**. *In vitro* evaluation of alfalfa substitution with fenugreek (*Trigonella foenum graegum*) hay in a high concentrate ration. Iranian Journal of Applied Animal Science. 4: 291-296.