دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشهای تولیدات دامی

مقایسه ارزش تغذیه‌ای جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* (*Spirulina platensis*) با برخی کنجاله‌های پروتئینی مورد استفاده در تغذیه نشخوارکنندگان

محمد ناصحی[۱]، محمد انتصاریان[۲] و رضا پورجمشیدیان[۲]

۱- پژوهشگر مرکز شهید آبسالان، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا، تهران، (نویسنده مسوول: Nasehi.md65@gmail.com)
۲- پژوهشگر مرکز شهید آبسالان، سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا، تهران
تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۳۰
صفحه: ۲۷ تا ۳۶

چکیده

این پژوهش به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و مقایسه آن با کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه در گاو انجام گرفت. آزمایش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای با ۲ راس گاو نر تالشی به وزن تقریبی ۳۵۰ کیلوگرم در ساعات صفر، ٤، ۸، ۱۲، ۲٤ و ٤۸ انجام گرفت. برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تیمارهای آزمایشی از روش تولید گاز استفاده شد. بدین منظور مایع شکمبه از ۳ راس گاو نر تالشی فیستولاگذاری شده با میانگین وزنی ۳۳۵ کیلوگرم گرفته شد. در بین تیمارهای آزمایشی جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین درصد (٦۷/٦۹ درصد) پروتئین خام بود (P= ۰/۰۰۰۱). بیشترین مقدار پتانسیل تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای (*a+b*) ماده خشک (۹۸/٦۹ درصد) در بین مواد خوراکی به جلبک *اسپیرولینا* تعلق داشت (P= ۰/۰۰۰۱). در بین تیمارها جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین مقدار (۹۷/۳٦ درصد) بخش *a+b* تجزیه‌پذیری پروتئین خام بود (P= ۰/۰۰۰۱). مقدار پتانسیل تولید گاز جلبک *اسپیرولینا* (۳۵/۷۷ میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک) به‌طور معنی‌داری از کنجاله آفتابگردان بیشتر و از کنجاله‌های سویا، کانولا و تخم پنبه کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). قابلیت هضم ماده آلی (۷۰/۱۸ درصد) و انرژی قابل متابولیسم (۹/۸٦ مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک) جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه بیشتر اما نسبت به کنجاله‌های سویا و کانولا کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). انرژی خالص شیردهی (۳/٤۷ مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک) و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (۰/٦۱ میلی‌مول بر گرم ماده خشک) جلبک *اسپیرولینا* با کنجاله آفتابگردان اختلاف معنی‌داری نداشت اما از دیگر تیمارهای آزمایشی به‌طور معنی‌داری کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). نتایج این آزمایش نشان داد که جلبک *اسپیرولینا* از مقدار پروتئین خام بیشتری نسبت به کنجاله‌های پروتئینی معمول در تغذیه نشخوارکنندگان برخوردار بوده و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین آن نیز بسیار زیاد است. بنابراین می‌توان از جلبک *اسپیرولینا* به‌عنوان یک منبع پروتئین سریع تجزیه در جیره غذایی نشخوارکنندگان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: جلبک *اسپیرولینا*، کنجاله‌های پروتئینی، ترکیبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای، تولید گاز، قابلیت هضم

مقدمه

بررسی و ارزیابی آینده تولید خوراک دام و قیمت آن در کشور نشان می‌دهد که رشد تقاضای محصولات پروتئینی و محدودیت‌های اقلیمی باعث افزایش بیشتر قیمت نهاده‌های دامی خواهد شد (۲۴). با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی کشور، محدودیت منابع آب و خاک، کمبود نهاده‌های خوراک دام و اختصاص یافتن بخش قابل توجهی از هزینه‌های دامپروری به خوراک دام‌ها (۲۴) می‌توان با استفاده از منابع خوراکی جدید و سازگار با شرایط آب و هوایی کشور بخشی از مشکلات کمبود مواد خوراک دام را برطرف کرد. در همین راستا می‌توان با مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح با هدف شناسایی ارزش تغذیه‌ای، فرآوری و توجیه کاربردی و اقتصادی، زمینه استفاده از منابع خوراکی جدید را فراهم کرد. یکی از منابع خوراکی که می‌تواند مورد توجه واقع شود جلبک‌ها هستند. جلبک‌ها از گیاهان ناهمگنی بوده که دارای طبقه‌بندی پیچیده و بحث‌برانگیز هستند. جلبک‌ها به دو نوع اصلی دسته‌بندی می‌شوند، جلبک‌های میکرو (دارای اندازه کوچک) که در اعماق دریاها و زیست‌بوم‌های ساحلی به‌شکل فیتوپلانکتون‌ها وجود دارند و جلبک‌های ماکرو که در نواحی ساحلی وجود داشته و دارای اندازه بزرگی هستند (۱۶). جلبک‌ها دارای مقادیر قابل ملاحظه‌ای پروتئین، کربوهیدرات، عناصر معدنی، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها هستند. ترکیبات شیمیایی جلبک‌ها با توجه به فصل، سن، عوامل آب و هوایی و محیطی، توزیع جغرافیایی و تنوع فیزیولوژیکی آن‌ها متغیر است. در مورد ترکیبات شیمیایی جلبک‌ها، بسته به گونه جلبک، پروتئین خام از ۵ تا ۴۳/۶، خاکستر کل ۶ تا ۴۱، مقدار کلسیم از ۰/۰۶ تا ۲/۱، فسفر از ۰/۰۱ تا ۱/۵۳ و مقدار سدیم ۰/۴۳ تا ۴/۳ درصد گزارش شده است (۳۰).

اسپیرولین[1] یک سیانوباکتری رشته‌ای میکروسکوپی است و نام این جلبک از شکل مارپیچی و رشته‌ای آن مشتق شده است. مساله قابل توجه در جلبک *اسپیرولینا* وجود ۶۵ تا ۷۱ درصد پروتئین خام در ماده خشک آن است (۹). *اسپیرولینا* دارای مواد مغذی بسیار، مواد معدنی باند شده، رنگدانه‌ها، قند رامنوز، عناصر کمیاب و آنزیم‌های قابل جذب است. ارزش تغذیه‌ای بالای جلبک *اسپیرولینا* در مقایسه با برخی از انواع باکتری‌ها به‌دلیل درصد نسبتا کم (۴ درصد) نوکلئیک اسیدهای موجود در آن است. *اسپیرولینا* دارای ویتامین B_{12} نیز بوده و برخلاف دیواره سلولزی سایر جلبک‌های تغذیه‌ای،

1- *Spirulina*

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

دیواره سلولی موکوپروتئینی آن به‌راحتی هضم می‌شود. چربی‌های این جلبک به‌صورت اسیدهای چرب غیراشباع است (۹).

در اثر استفاده از جلبک دریایی *آسوفیلوم نودسوم*[1] در سطوح ۱۰ و ۲۰ گرم برکیلوگرم در هر روز در جیره غذایی بره‌ها، متوسط افزایش وزن روزانه، مصرف خوراک، ضریب تبدیل و خصوصیات لاشه تحت تاثیر قرار نگرفت (۵). پژوهشگران بیان کرده‌اند که در اثر استفاده از سطوح مختلف جلبک *اسپیرولینا* در جیره غذایی گاو مقدار آب مصرفی در طول ۲۴ ساعت تغییری پیدا نکرده است (۲۲). پژوهش‌ها نشان داده است، استفاده از مخلوط جلبک‌های دریایی به همراه یک منبع سلنیوم می‌تواند یک راه‌کار مناسب برای بهبود وضعیت مواد معدنی در شیر و سرم خون گاوهای شیری باشد (۱۴).

با توجه به پژوهش‌های انجام شده، اطلاعات دقیقی در مورد تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس*[2] و مقایسه ارزش تغذیه‌ای آن با برخی مواد خوراکی معمول در تغذیه نشخوارکنندگان وجود ندارد. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور تعیین ترکیبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک و پروتئین خام، تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر جلبک *اسپیرولینا پلاتنسیس* و مقایسه آن با کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در موسسه تحقیقات علوم دامی کشور انجام گرفت. جلبک *اسپیرولینا* با همکاری مرکز شهید آبسالان سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا تهیه شد.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی

اندازه‌گیری ماده خشک، خاکستر خام، ماده آلی، پروتئین خام، انرژی خام و چربی خام جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه به روش AOAC (۳) انجام گرفت. کلسیم با استفاده از کیت تشخیصی پارس آزمون (شرکت پارس آزمون، ۱۰۸۱۰۲، ایران) و فسفر نیز با استفاده از کیت تشخیصی پارس آزمون (شرکت پارس آزمون، ۱۲۷۵۰۰، ایران) به روش اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد (۳). الیاف نامحلول در شوینده خنثی[3]، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی[4] و لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی[5] به روش‌های ون‌سوست و همکاران (۲۹)، AOAC (۳) و رابرتسون و ون‌سوست (۲۳) تعیین شدند.

اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای

آزمایش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای با ۲ راس گاو نر تالشی (دارای فیستولای شکمبه‌ای) به وزن تقریبی ۳۵۰ کیلوگرم انجام گرفت. گاوها با یک جیره پایه حاوی یونجه خشک، کاه گندم و کنسانتره (دانه جو، سبوس گندم و کنجاله سویا) در سطح احتیاجات نگهداری براساس توصیه NRC (۲۰) تغذیه شدند. خوراک‌دهی روزانه در دو وعده مساوی در ساعت‌های ۰۰: ۸ و ۰۰: ۱۸ صورت گرفت تا محیط شکمبه در شرایط نسبتا ثابتی نگه‌داشته شود. آب و سنگ نمک نیز به‌طور آزاد در دسترس دام‌ها قرار داشت. برای تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای در هر کیسه نایلونی ۵ گرم از هرنمونه (جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه) قرار داده شد (۲۸). سپس کیسه‌های نایلونی (از جنس داکرون با ابعاد ۱۴×۵ سانتی‌متر) حاوی نمونه‌ها از طریق فیستولا وارد شکمبه شده (در هر گاو ۲ تکرار از هر تیمار برای هر ساعت) و تا پایان زمان شکمبه گذاری، درب فیستولا محکم بسته شد. بعد از گذشت زمان‌های موردنظر (صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ساعت) کیسه‌ها از شکمبه خارج و برای توقف فعالیت میکروارگانیسم‌ها بلافاصله در یک ظرف حاوی آب سرد قرار داده شدند. سپس کیسه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه با ماشین لباس‌شویی مورد شست‌وشو قرار گرفتند. کیسه‌ها برای خشک شدن به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. مقدار تجزیه‌پذیری ماده خشک از اختلاف وزن نمونه‌های خشک‌شده با وزن قبل از شکمبه‌گذاری تعیین شد. برای اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام تیمارهای آزمایشی پس از اندازه‌گیری تجزیه‌پذیری ماده خشک، با احتساب اختلاف پروتئین خام در نمونه‌های قبل و بعد از شکمبه‌گذاری مقدار تجزیه‌پذیری پروتئین خام به‌دست آمد (۱۳).

برآورد فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام نمونه‌های آزمایشی با استفاده از معادله ارسکوف و مک‌دونالد (۲۱) و با استفاده از نرم‌افزار Fitcurve محاسبه شد. در این راستا رابطه زیر مورد استفاده قرار گرفت:

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

P: مقدار تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t، a: بخش سریع تجزیه که به‌سرعت ناپدید می‌شود (درصد)، b: بخش کند تجزیه که بالقوه قابل تجزیه است (درصد)، c: نرخ ثابت تجزیه بخش b (درصد بر ساعت)، t: زمان تخمیر در شکمبه، e: مبنای لگاریتم نپری (برابر با ۲/۷۱۸۲).

اندازه‌گیری تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر

برای اندازه‌گیری قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر تیمارهای آزمایشی از روش تولید گاز استفاده شد (۱۸). بدین منظور از ۳ راس گاو نر تالشی (اخته و بالغ) فیستولاگذاری شده با میانگین وزنی ۳۳۵ کیلوگرم استفاده شد. گاوها با یک جیره پایه حاوی یونجه خشک، کاه گندم و کنسانتره (دانه جو، سبوس گندم و کنجاله سویا) در سطح احتیاجات نگهداری براساس توصیه NRC (۲۰) تغذیه شدند. مایع شکمبه حدود نیم ساعت قبل از وعده خوراک صبح از طریق فیستولای شکمبه‌ای جمع‌آوری و با استفاده از دو لایه پارچه مخصوص صاف گردیده و در فلاسک محتوی گاز کربنیک ریخته شد و با قرار دادن ظرف حاوی مایع شکمبه در آب گرم ۳۹ درجه سانتی‌گراد، بی‌درنگ به آزمایشگاه منتقل شد. برای اندازه‌گیری مقدار تولید گاز، ۲۰۰ میلی‌گرم از هر یک از تیمارهای آزمایشی به همراه ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط مایع

1- *Ascophyllum nodosum*
2- *Spirulina platensis*
3- Neutral detergent fiber (NDF)
4- Acid detergent fiber (ADF)
5- Acid detergent lignin (ADL)

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

شکمبه و بزاق مصنوعی (به نسبت ۲:۱؛ مایع شکمبه: بزاق مصنوعی) در سرنگ‌های شیشه‌ای ۱۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد. تعیین گاز تولیدی با ۳ تکرار برای هر تیمار انجام گرفت. به‌منظور تصحیح گاز تولید شده از ذرات باقی‌مانده در مایع شکمبه، ۳ تکرار به‌عنوان بلانک در نظر گرفته شد. سرنگ‌ها در انکوباتور (۳۹ درجه سانتی‌گراد) که با سرعت یک دور در دقیقه برای مخلوط کردن مداوم محتویات سرنگ‌ها می‌چرخید، قرار داده شد. حجم گاز تولیدشده در زمان‌های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت پس از انکوباسیون قرائت گردید. فراسنجه‌های تولید گاز با استفاده از نرم‌افزار Fitcurve و با استفاده از معادله زیر مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (۲۱).

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

P: گاز تولیدی در زمان t، a: گاز تولیدی از بخش محلول (میلی‌لیتر)، b: گاز تولیدی از بخش نامحلول اما قابل تخمیر (میلی‌لیتر)، c: ثابت نرخ تولید گاز از بخش نامحلول در طول زمان (میلی‌لیتر بر ساعت)، t: زمان تخمیر در شکمبه (ساعت)، e: مبنای لگاریتم نپری (برابر با ۲/۷۱۸۲).

مقدار انرژی قابل متابولیسم[1] (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک) و قابلیت هضم ماده آلی[2] (درصد) براساس روابط بیان شده توسط منک و همکاران (۱۹)، انرژی خالص شیردهی[3] (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک) براساس روش منک و اشتینگاش (۱۸) و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر[4] (میلی‌مول بر میلی‌گرم ماده خشک) براساس روش گتاچیو و همکاران (۸) تعیین گردید.

$ME\ (MJ/kg\ DM) = 2.20+0.136\ GP + 0.057\ CP$
$OMD\ (\%) = 14.88+0.889\ GP+0.45\ CP+0.0651\ XA$
$NE_L\ (MJ/kg\ DM) = 0.096\ GP+0.0038\ CP+0.000173\ EE^2 +0.54$
$SCFA\ (m\ mol/mg\ DM) = 0.0222GP-0.00425$

در روابط فوق GP: مقدار گاز تولیدی (میلی‌لیتر) پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون، CP: مقدار پروتئین خام (درصد)، XA: خاکستر خام (درصد)، EE: چربی خام (درصد) است.

تجزیه و تحلیل آماری

به‌منظور بررسی داده‌های حاصل از این پژوهش از یک طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار شامل: جلبک *اسپیرولینا*، کنجاله سویا، کنجاله کانولا، کنجاله آفتابگردان و کنجاله تخم پنبه استفاده گردید. برای اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی و تجزیه‌پذیری ماده خشک و پروتئین خام از ۴ تکرار در هر تیمار و برای اندازه‌گیری داده‌های مربوط به تولید گاز از ۳ تکرار برای هر تیمار استفاده شد. مدل آماری طرح به‌صورت زیر بود.

$Y_{ij} = \mu + T_{ij} + e_{ij}$

Y_{ij}: مقدار هر مشاهده، μ: میانگین صفت مورد آزمایش، T_{ij}: اثر تیمار، e_{ij}: خطای آزمایشی (باقی‌مانده)

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS ۹/۱ (۲۵) و رویه GLM استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی

ترکیبات شیمیایی جلبک *اسپیرولینا*، کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه در جدول ۱ گزارش شده است. مقدار ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله تخم پنبه بیشتر بود (P= ۰/۰۱) اما با سایر کنجاله‌های پروتئینی اختلاف معنی‌داری نداشت. بیشترین مقدار خاکستر خام (۸/۷۷ درصد) در بین تیمارهای آزمایشی متعلق به جلبک *اسپیرولینا* بود (P= ۰/۰۰۰۱). کمترین مقدار ماده آلی (۹۱/۲۲ درصد) در بین تیمارها به جلبک *اسپیرولینا* تعلق داشت (P= ۰/۰۰۰۱). مقدار پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* (۶۷/۶۹ درصد) به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های پروتئینی مورد بررسی بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱).

جدول ۱- ترکیبات شیمیایی جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه

Table 1. Chemical composition of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals

ترکیبات شیمیایی*	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
ماده خشک	۹۳/۷۴^{ab}	۹۲/۸۹^{abc}	۹۲/۳۵^{bc}	۹۴/۳۱^{a}	۹۱/۵۵^{c}	۰/۷۳۸	۰/۰۱۵۲
خاکستر خام	۸/۷۷^{a}	۳/۴۹^{d}	۷/۴۵^{b}	۶/۲۱^{c}	۵/۹۷^{c}	۰/۵۶۵	۰/۰۰۰۱
ماده آلی	۹۱/۲۲^{d}	۹۶/۵۰^{a}	۹۲/۵۴^{c}	۹۳/۷۸^{b}	۹۴/۰۲^{b}	۰/۵۶۵	۰/۰۰۰۱
پروتئین خام	۶۷/۶۹^{a}	۴۴/۷۶^{b}	۳۵/۶۰^{c}	۳۰/۴۴^{d}	۳۶/۴۹^{c}	۰/۷۹۳	۰/۰۰۰۱
چربی خام	۰/۹۲^{d}	۴/۵۴^{bc}	۴/۲۱^{c}	۵/۶۷^{ab}	۵/۷۳^{a}	۰/۵۲۹	۰/۰۰۰۱
NDF	۰/۸۳^{e}	۱۸/۰۱^{d}	۲۳/۷۵^{c}	۴۳/۶۱^{a}	۳۲/۶۸^{b}	۰/۶۲۴	۰/۰۰۰۱
ADF	۰/۵۴^{e}	۷/۵۳^{d}	۱۶/۷۵^{c}	۳۱/۷۲^{a}	۲۰/۷۲^{b}	۰/۵۲۹	۰/۰۰۰۱
ADL	۰/۲۵^{d}	۰/۷۶^{d}	۹/۵۲^{b}	۱۰/۵۷^{a}	۷/۵۹^{c}	۰/۳۶۰	۰/۰۰۰۱
انرژی خام	۳۶۹۳/۰۰^{c}	۴۴۵۸/۵۰^{a}	۴۱۰۶/۷۵^{b}	۴۵۶۹/۲۵^{a}	۴۵۴۱/۵۰^{a}	۶۰/۷۸۵	۰/۰۰۰۱
کلسیم	۰/۶۷^{a}	۰/۶۵^{a}	۰/۷۱^{a}	۰/۶۵^{b}	۰/۳۰^{c}	۰/۰۵۵	۰/۰۰۰۱
فسفر	۰/۱۱^{b}	۰/۷۵^{a}	۰/۶۵^{a}	۰/۶۵^{a}	۰/۷۵^{a}	۰/۰۵۹	۰/۰۰۰۱

*: ترکیبات شیمیایی براساس درصد ماده خشک بیان شده است. NDF: الیاف نامحلول در شوینده خنثی، ADF: الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، ADL: لیگنین نامحلول در شوینده اسیدی. انرژی خام براساس کیلوکالری بر کیلوگرم ماده خشک بیان شده است. SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

1- Metabolizable energy (ME)
2- Organic matter digestibility (OMD)
3- Net energy of lactation (NE_L)
4- Short chain fatty acid (SCFA)

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]
[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

در بین تیمارهای آزمایشی کمترین مقادیر چربی خام (۰/۹۲ درصد)، NDF (۰/۸۳ درصد) و ADF (۰/۵۴ درصد) به جلبک *اسپیرولینا* تعلق داشت (P= ۰/۰۰۰۱). مقدار ADL در جلبک *اسپیرولینا* تفاوت معنی‌داری با کنجاله سویا نداشت اما از دیگر تیمارها به‌طور معنی‌داری کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). کمترین مقدار انرژی خام (۳۶۹۳ کیلوکالری بر کیلوگرم ماده خشک) در بین تیمارهای آزمایشی به جلبک *اسپیرولینا* تعلق داشت (P= ۰/۰۰۰۱). مقدار کلسیم جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱) اما اختلاف معنی‌داری با کنجاله‌های سویا و کانولا نداشت. جلبک *اسپیرولینا* از کمترین مقدار فسفر (۰/۱۱۵ درصد) در بین تیمارهای آزمایشی برخوردار بود (P= ۰/۰۰۰۱).

پژوهشگران مقادیر ماده خشک، خاکستر خام، ماده آلی و پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* را به ترتیب ۹۶-۹۱ درصد، ۱۱-۳ درصد، ۹۷-۸۹ درصد و ۷۰-۶۰ درصد گزارش کرده‌اند (۱۱،۱۲،۷) که با نتایج پژوهش حاضر تطابق دارد. کاستا و همکاران (۷) مقدار NDF جلبک *اسپیرولینا* را ۰/۶۳ درصد گزارش کرد که تا حدودی با مقدار اندازه‌گیری شده در این آزمایش مطابقت دارد. قائنی و همکاران (۹) مقادیر خاکستر خام و پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* را به‌ترتیب ۰/۷ و ۵۰/۹۳ درصد گزارش کردند که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر متفاوت است. ترکیبات شیمیایی جلبک‌ها با توجه به فصل، سن، عوامل آب و هوایی و محیطی، توزیع جغرافیایی و تنوع فیزیولوژیکی آن‌ها متغیر است (۳۰). این مساله می‌تواند علت تفاوت ترکیبات شیمیایی اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر با نتایج گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران باشد. سورن و ساستری (۲۷) مقدار ماده خشک و پروتئین خام کنجاله سویا را به‌ترتیب ۹۱/۷ و ۴۵/۶ درصد بیان کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی توسط شورنگ و همکاران (۲۶) مقادیر ماده خشک، پروتئین خام و خاکستر خام کنجاله کانولا به ترتیب ۹۳ درصد، ۳۵/۹ درصد و ۸/۲ درصد گزارش شد که با نتایج حاصل از تحقیق حاضر یکسان است. در آزمایشی مقادیر پروتئین خام و خاکستر خام کنجاله تخم پنبه به‌ترتیب ۴۲/۴ درصد و ۱۰/۱ درصد گزارش شد که با نتایج پژوهش حاضر مخالف بود (۱۵). مهدوی کلاته‌نو و همکاران (۱۵) مقدار پروتئین خام کنجاله آفتابگردان را ۳۸/۱ درصد گزارش کردند. مقدار پروتئین خام کنجاله تخم پنبه توسط ماتیوس و همکاران (۱۷)، ۲۵/۳۴ درصد بیان شده است. نوع رقم دانه‌های روغنی، روش روغن‌کشی و اختلاف در شرایط نگهداری بر ترکیبات شیمیایی کنجاله‌های پروتئینی مؤثر است (۱۷).

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک تیمارهای آزمایشی در ساعات مختلف انکوباسیون در جدول ۲ نشان داده شده است. جلبک *اسپیرولینا* در تمامی ساعت‌های انکوباسیون از مقدار تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک بیشتری نسبت به کنجاله‌های پروتئینی مورد بررسی برخوردار بود (P= ۰/۰۰۰۱). فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک تیمارهای آزمایشی در جدول ۳ گزارش شده است. مقدار بخش سریع تجزیه (*a*) ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از دیگر تیمارها بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). بخش کند تجزیه (*b*) ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه بیشتر و از کنجاله سویا کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱) اما تفاوت معنی‌داری با کنجاله کانولا نداشت. جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین مقدار (۹۸/۶۹ درصد) پتانسیل تجزیه‌پذیری (*a+b*) ماده خشک در بین تیمارهای آزمایشی بود.

جدول ۲- تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک (درصد) جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه در ساعت‌های مختلف انکوباسیون

Table 2. Ruminal dry matter degradability (%) of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals at different hours of incubation

تیمارها / ساعت‌های انکوباسیون	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
۰	۴۳/۲۶^{a}	۲۹/۱۷^{b}	۲۶/۶۹^{c}	۲۵/۳۹^{cd}	۲۴/۶۷^{d}	۰/۸۳۹	۰/۰۰۰۱
۴	۵۰/۹۸^{a}	۴۲/۱۸^{b}	۳۶/۸۱^{c}	۳۴/۵۰^{d}	۳۱/۵۸^{e}	۰/۸۵۷	۰/۰۰۰۱
۸	۶۱/۴۰^{a}	۵۵/۳۴^{b}	۴۴/۸۷^{c}	۴۱/۵۹^{d}	۳۸/۶۴^{e}	۱/۳۱۳	۰/۰۰۰۱
۱۲	۸۳/۳۱^{a}	۷۰/۸۰^{b}	۴۷/۵۱^{c}	۴۴/۷۰^{cd}	۴۱/۹۶^{d}	۱/۳۳۲	۰/۰۰۰۱
۲۴	۹۳/۰۸^{a}	۷۸/۳۵^{b}	۶۸/۶۱^{c}	۵۵/۱۱^{d}	۴۶/۸۸^{e}	۱/۰۴۸	۰/۰۰۰۱
۴۸	۹۴/۷۰^{a}	۹۱/۸۳^{b}	۷۸/۱۲^{c}	۶۵/۸۸^{d}	۶۰/۶۰^{e}	۰/۹۶۱	۰/۰۰۰۱

SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

جدول ۳- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک (درصد) جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه
Table 3. Ruminal dry matter degradability parameters (%) of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals

تیمارها / فراسنجه‌ها	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
a	۳۹/۵۶^{a}	۲۸/۲۳^{b}	۲۶/۴۵^{bc}	۲۶/۲۳^{c}	۲۵/۹۴^{c}	۰/۸۴۸	۰/۰۰۰۱
b	۵۹/۱۲^{b}	۶۴/۹۶^{a}	۵۹/۵۸^{b}	۴۳/۴۷^{c}	۴۰/۰۴^{d}	۰/۹۲۱	۰/۰۰۰۱
a+b	۹۸/۶۹^{a}	۹۳/۱۹^{b}	۸۶/۰۲^{c}	۶۹/۷۰^{d}	۶۵/۹۹^{e}	۱/۱۷۰	۰/۰۰۰۱
c	۰/۰۸۰^{a}	۰/۰۷۲^{a}	۰/۰۴۴^{bc}	۰/۰۴۸^{b}	۰/۰۳۸^{c}	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۲	۸۶/۸۷^{a}	۷۸/۸۲^{b}	۶۷/۵۲^{c}	۵۶/۹۷^{d}	۵۲/۲۵^{e}	۰/۷۹۶	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۵	۷۶/۰۲^{a}	۶۶/۳۵^{b}	۵۴/۵۰^{c}	۴۷/۶۰^{d}	۴۳/۳۰^{e}	۰/۸۲۷	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۸	۶۹/۲۵^{a}	۵۸/۸۲^{b}	۴۷/۷۵^{c}	۴۲/۶۲^{d}	۳۸/۹۲^{e}	۰/۸۶۶	۰/۰۰۰۱

a: بخش سریع تجزیه (درصد)، *b* : بخش کند تجزیه (درصد)، (*a+b*) : پتانسیل تجزیه‌پذیری (درصد)، *c*: نرخ ثابت تجزیه (درصد در ساعت)، ED: تجزیه‌پذیری مؤثر (درصد در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد). SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

نرخ ثابت تجزیه (*c*) ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* با کنجاله سویا تفاوت معنی‌داری نداشت اما به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های کانولا، آفتابگردان و تخم پنبه بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* در تمامی نرخ‌های عبور (۲، ۵ و ۸ درصد) به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های پروتئینی مورد مطالعه بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱).

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک (جداول ۲ و ۳)، جلبک *اسپیرولینا* در بین تیمارهای مورد مطالعه از بیشترین مقدار تجزیه‌پذیری ماده خشک برخوردار بوده است. تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک مواد خوراکی با ترکیبات شیمیایی موجود در آن‌ها در ارتباط است. از بین ترکیبات شیمیایی NDF، ADF و ADL به‌طور منفی تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱). با توجه به ترکیبات شیمیایی تیمارهای آزمایشی که در جدول ۱ بیان شده است، جلبک *اسپیرولینا* دارای کمترین مقادیر NDF، ADF و ADL در بین مواد خوراکی مورد مطالعه است. بنابراین از آنجایی که بین این ترکیبات و تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک یک همبستگی منفی وجود دارد این امر می‌تواند دلیل بیشتر بودن تجزیه‌پذیری ماده خشک جلبک *اسپیرولینا* نسبت به سایر تیمارها باشد.

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام

تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* در تمامی ساعات انکوباسیون به‌طور معنی‌داری (P= ۰/۰۰۰۱) از دیگر تیمارهای آزمایشی بیشتر بود (جدول ۴). فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام تیمارهای آزمایشی در جدول ۵ گزارش شده است. جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین مقدار بخش سریع تجزیه (*a*) پروتئین خام (۴۲/۸۲ درصد) در مقایسه با کنجاله‌های پروتئینی مورد آزمایش بود (P= ۰/۰۰۰۱).

جدول ۴- تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام (درصد) جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه در ساعت‌های مختلف انکوباسیون
Table 4. Ruminal crude protein degradability (%) of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals at different hours of incubation

تیمارها / ساعت‌های انکوباسیون	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
۰	۴۵/۳۵^{a}	۲۳/۴۰^{c}	۲۵/۰۲^{c}	۲۷/۴۳^{b}	۲۴/۵۴^{c}	۱/۰۰۹	۰/۰۰۰۱
۴	۵۴/۵۴^{a}	۳۰/۱۵^{c}	۲۸/۴۲^{c}	۳۶/۶۲^{b}	۲۸/۶۳^{c}	۰/۸۱۲	۰/۰۰۰۱
۸	۷۲/۵۵^{a}	۴۶/۶۱^{b}	۴۲/۶۴^{c}	۴۳/۷۰^{c}	۳۹/۶۱^{d}	۱/۱۶۸	۰/۰۰۰۱
۱۲	۸۵/۶۷^{a}	۶۵/۳۹^{b}	۶۲/۰۳^{c}	۴۵/۲۰^{d}	۴۳/۵۷^{d}	۱/۴۸۶	۰/۰۰۰۱
۲۴	۹۰/۷۵^{a}	۸۴/۸۶^{b}	۸۲/۴۷^{c}	۶۸/۹۳^{d}	۵۶/۵۶^{e}	۱/۰۰۹	۰/۰۰۰۱
۴۸	۹۶/۴۲^{a}	۸۷/۵۸^{b}	۸۵/۸۵^{b}	۷۶/۷۲^{c}	۶۳/۷۵^{d}	۱/۲۱۶	۰/۰۰۰۱

SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

جدول ۵- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام (درصد) جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه
Table 5. Ruminal crude protein degradability parameters (%) of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals

تیمارها / فراسنجه‌ها	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
a	۴۲/۸۲^{a}	۱۸/۵۶^{d}	۱۹/۳۶^{d}	۲۶/۷۳^{b}	۲۲/۹۹^{c}	۰/۹۲۱	۰/۰۰۰۱
b	۵۴/۵۳^{c}	۷۴/۹۱^{a}	۷۳/۷۵^{a}	۵۹/۳۷^{b}	۴۴/۹۱^{d}	۱/۰۵۵	۰/۰۰۰۱
a+b	۹۷/۳۶^{a}	۹۳/۴۸^{b}	۹۳/۱۱^{b}	۸۶/۱۰^{c}	۶۷/۹۰^{d}	۱/۱۸۳	۰/۰۰۰۱
c	۰/۰۹۸^{a}	۰/۰۷۰^{b}	۰/۰۶۲^{c}	۰/۰۴۱^{e}	۰/۰۵۳^{d}	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۲	۸۸/۱۵^{a}	۷۶/۹۵^{b}	۷۵/۱۲^{b}	۶۶/۸۵^{c}	۵۵/۵۵^{d}	۱/۰۷۲	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۵	۷۹/۰۰^{a}	۶۲/۴۵^{b}	۶۰/۲۷^{c}	۵۳/۷۷^{d}	۴۶/۰۵^{e}	۰/۹۷۷	۰/۰۰۰۱
ED = ۰/۰۸	۷۲/۹۵^{a}	۵۳/۸۰^{b}	۵۱/۷۷^{c}	۴۷/۱۰^{d}	۴۰/۸۵^{e}	۰/۹۰۵	۰/۰۰۰۱

a: بخش سریع تجزیه (درصد)، *b*: بخش کند تجزیه (درصد)، (*a+b*) : پتانسیل تجزیه‌پذیری (درصد)، *c* : نرخ ثابت تجزیه (درصد در ساعت)، ED: تجزیه‌پذیری مؤثر (درصد در نرخ‌های عبور ۲، ۵ و ۸ درصد). SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

مقدار بخش کند تجزیه (*b*) پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های سویا، کانولا و آفتابگردان کمتر اما از کنجاله تخم پنبه بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). در بین تیمارهای آزمایشی بیشترین مقدار پتانسیل تجزیه‌پذیری (*a+b*) پروتئین خام (۹۷/۳۶ درصد) به جلبک *اسپیرولینا* تعلق داشت (P= ۰/۰۰۰۱). نرخ ثابت تجزیه (*c*) پروتئین خام جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های پروتئینی مورد آزمایش بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). در بین تیمارهای آزمایشی جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین مقادیر تجزیه‌پذیری مؤثر پروتئین خام در تمامی نرخ‌های عبور (۲، ۵ و ۸ درصد) بود (P= ۰/۰۰۰۱). در بین تیمارهای آزمایشی جلبک *اسپیرولینا* دارای بیشترین مقدار تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام بوده است (جداول ۴ و ۵). بین ترکیبات شیمیایی موجود در یک ماده خوراکی پیوندهایی وجود دارد که می‌تواند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای هر یک از ترکیبات شیمیایی را تحت تأثیر قرار دهد. در این بین، اجزای دیواره سلولی بسیار حائز اهمیت هستند. بخشی از پروتئین موجود در یک ماده خوراکی در پیوند با اجزای دیواره سلولی بوده و با توجه به مقدار و نوع اتصال آن، بخشی از این پروتئین در شکمبه از حلالیت بسیار پایینی برخوردار بوده و قابل استفاده نیست (۱۰). با توجه به ترکیبات شیمیایی جلبک *اسپیرولینا* (جدول ۱) و وجود مقدار بسیار اندک اجزای دیواره سلولی، می‌توان مقادیر کمتر این ترکیبات در مقایسه با سایر تیمارها را دلیل بالا بودن تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام آن دانست.

علاوه بر این، ماهیت پروتئین در مواد خوراکی مختلف با یکدیگر تفاوت داشته و پروتئین موجود در برخی منابع از مقاومت بیشتری در مقابل حمله میکروارگانیسم‌های شکمبه برخوردار است (۱۰).

تولید و فراسنجه‌های تولید گاز در ساعت‌های مختلف انکوباسیون

پس از ۹۶ ساعت انکوباسیون مقدار گاز تولید شده توسط جلبک *اسپیرولینا* تفاوت معنی‌داری با کنجاله آفتابگردان نداشت اما به‌طور معنی‌داری (P= ۰/۰۰۰۱) از دیگر کنجاله‌های پروتئینی کمتر بود (جدول ۶).

جدول ۶- تولید گاز (میلی‌لیتر بر میلی‌گرم ماده خشک) جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه در ساعت‌های مختلف انکوباسیون
Table 6. Gas production (ml/mg DM) of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals at different hours of incubation

تیمارها / ساعت‌های انکوباسیون	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
۲	۴/۱۶^{c}	۱۲/۸۷^{a}	۱۴/۳۸^{a}	۵/۶۰^{c}	۹/۶۲^{b}	۱/۲۳۸	۰/۰۰۰۱
۴	۸/۱۶^{c}	۱۹/۷۲^{a}	۲۱/۶۲^{a}	۱۰/۵۰^{c}	۱۹/۹۷^{b}	۱/۴۳۷	۰/۰۰۰۱
۶	۱۲/۰۰^{c}	۲۵/۶۶^{a}	۲۸/۵۸^{a}	۱۶/۷۷^{b}	۱۷/۷۸^{b}	۱/۳۱۴	۰/۰۰۰۱
۸	۱۵/۵۰^{c}	۳۲/۲۴^{a}	۳۴/۲۱^{a}	۱۹/۷۶^{b}	۲۰/۵۱^{b}	۱/۲۶۲	۰/۰۰۰۱
۱۲	۱۹/۱۶^{c}	۴۰/۴۳^{a}	۴۰/۳۵^{a}	۲۲/۹۱^{b}	۲۲/۷۷^{b}	۱/۴۱۴	۰/۰۰۰۱
۲۴	۲۷/۸۳^{d}	۵۲/۶۱^{a}	۴۹/۳۶^{b}	۲۹/۶۵^{d}	۳۲/۵۳^{c}	۱/۱۴۶	۰/۰۰۰۱
۴۸	۳۴/۰۰^{c}	۵۴/۰۴^{a}	۵۴/۸۰^{a}	۳۱/۷۹^{c}	۳۸/۸۲^{b}	۱/۲۱۶	۰/۰۰۰۱
۷۲	۳۵/۵۰^{c}	۵۴/۷۹^{a}	۵۵/۸۸^{a}	۳۲/۸۸^{c}	۴۰/۷۹^{b}	۱/۳۳۶	۰/۰۰۰۱
۹۶	۳۶/۰۰^{c}	۵۶/۳۲^{a}	۵۶/۶۶^{a}	۳۳/۶۲^{c}	۴۱/۶۷^{b}	۱/۵۴۹	۰/۰۰۰۱

SEM: خطای استاندارد میانگین، P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

فراسنجه‌های تولید گاز تیمارهای مورد بررسی در جدول ۷ گزارش شده است. مقدار تولید گاز از بخش محلول (*a*) جلبک *اسپیرولینا* تفاوت معنی‌داری با کنجاله‌های سویا و آفتابگردان نداشت اما به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های کانولا و تخم پنبه کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۲). مقدار تولید گاز از بخش نامحلول اما قابل تخمیر (*b*) و پتانسیل تولید گاز (*a+b*) جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های سویا، کانولا و تخم پنبه کمتر اما از کنجاله آفتابگردان بیشتر بود (P= ۰/۰۰۰۱). نرخ تولید گاز (*c*) جلبک *اسپیرولینا* تفاوت معنی‌داری با کنجاله تخم پنبه نداشت اما به‌طور معنی‌داری از کنجاله‌های سویا، کانولا و آفتابگردان کمتر بود (P= ۰/۰۰۰۱).

جدول ۷- فراسنجه‌های تولید گاز جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه

Table 7. Gas production parameters of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals

تیمارها / فراسنجه‌ها	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
a	۰/۰۹^{c}	۰/۶۰^{c}	۱/۷۰^{b}	-۰/۲۴^{c}	۳/۰۸^{a}	۰/۴۷۶	۰/۰۰۰۲
b	۳۵/۶۸^{c}	۵۴/۸۱^{a}	۵۳/۵۱^{a}	۳۲/۹۳^{a}	۳۷/۴۷^{b}	۰/۷۳۹	۰/۰۰۰۱
a+b	۳۵/۷۷^{c}	۵۵/۴۲^{a}	۵۵/۲۲^{a}	۳۲/۶۹^{a}	۴۰/۵۴^{b}	۱/۱۶۰	۰/۰۰۰۱
c	۰/۰۶۶^{b}	۰/۱۱۰^{a}	۰/۱۱۶^{a}	۰/۱۱۰^{a}	۰/۰۷۳^{b}	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱

a: گاز تولید شده از بخش محلول (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)، *b*: گاز تولید شده از بخش نامحلول اما قابل تخمیر (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)، (*a+b*): پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر بر گرم ماده خشک)، *c*: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر در ساعت) از بخش *b*. SEM: خطای استاندارد میانگین. P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

در بین تیمارهای مورد بررسی در پژوهش حاضر جلبک *اسپیرولینا* دارای مقدار تولید گاز کمتری نسبت به دیگر مواد خوراکی بود (جدول ۶). عوامل مختلفی از قبیل ماهیت و مقدار الیاف، وجود و یا عدم وجود متابولیت‌های ثانویه و کیفیت مایع شکمبه تولید گاز را در طی فرآیند تخمیر تحت تأثیر قرار می‌دهند. در این بین ماهیت و سطح کربوهیدرات‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴). به‌طور کلی تولید گاز مواد خوراکی از کربوهیدرات‌های تجزیه‌پذیر نشات می‌گیرد. با توجه به این‌که جلبک *اسپیرولینا* دارای مقدار بسیار کمی از کربوهیدرات‌های قابل تجزیه است (جدول ۱) بنابراین این مساله را می‌توان دلیل پایین بودن مقدار تولید گاز حاصل از آن در ساعات مختلف انکوباسیون دانست (۶). در این آزمایش پتانسیل تولید گاز جلبک *اسپیرولینا* نسبت به سایر تیمارهای آزمایشی کمتر بود (جدول ۷). مقدار کربوهیدرات‌های موجود در یک ماده خوراکی و قابلیت دسترسی آن‌ها برای میکروارگانیسم‌های موجود در شکمبه از عواملی هستند که پتانسیل تولید گاز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از آنجایی که در جلبک *اسپیرولینا* مقدار کربوهیدرات‌ها بسیار اندک است، این امر می‌تواند موجب کمتر شدن پتانسیل تولید گاز آن نسبت به سایر تیمارها باشد (۲).

قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر

مقدار قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم جلبک *اسپیرولینا* به‌طور معنی‌داری (P= ۰/۰۰۰۱) از کنجاله‌های سویا و کانولا کمتر اما نسبت به کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه بیشتر بود (جدول ۸). انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر جلبک *اسپیرولینا* تفاوت معنی‌داری با کنجاله آفتابگردان نداشت اما به‌طور معنی‌داری (P= ۰/۰۰۰۱) از کنجاله‌های سویا، کانولا و تخم پنبه کمتر بود (جدول ۸). در برآورد انرژی قابل متابولیسم به روش تولید گاز، مقدار پروتئین خام و گاز تولید شده پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون و برای تعیین قابلیت هضم ماده آلی علاوه بر موارد یاد شده مقدار خاکستر خام نیز مؤثر است (۲).

جدول ۸- قابلیت هضم ماده آلی، انرژی قابل متابولیسم، انرژی خالص شیردهی و اسیدهای چرب کوتاه زنجیر جلبک *اسپیرولینا* و کنجاله‌های سویا، کانولا، آفتابگردان و تخم‌پنبه

Table 8. Organic matter digestibility, metabolizable energy, net energy for lactation and short chain fatty acids of *Spirulina* algae and soybean, canola, sunflower and cotton seed meals

تیمارها	جلبک *اسپیرولینا*	کنجاله سویا	کنجاله کانولا	کنجاله آفتابگردان	کنجاله تخم پنبه	SEM	P-value
OMD	۷۰/۱۸^{c}	۸۲/۲۶^{a}	۷۵/۲۴^{b}	۵۵/۳۱^{e}	۶۰/۶۰^{d}	۱/۲۸۵	۰/۰۰۰۱
ME	۹/۸۶^{c}	۱۱/۹۳^{a}	۱۰/۹۳^{b}	۷/۹۶^{e}	۸/۷۰^{d}	۰/۱۸۲	۰/۰۰۰۱
NE_L	۳/۴۷^{d}	۵/۷۶^{a}	۵/۴۱^{b}	۳/۵۱^{d}	۳/۸۰^{c}	۰/۱۱۲	۰/۰۰۰۱
SCFA	۰/۶۱^{d}	۱/۱۶^{a}	۱/۰۹^{b}	۰/۶۵^{d}	۰/۷۲^{c}	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰۱

OMD: قابلیت هضم ماده آلی (درصد)، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک)، NE_L: انرژی خالص شیردهی (مگاژول بر کیلوگرم ماده خشک)، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول بر میلی‌گرم ماده خشک). SEM: خطای استاندارد میانگین. P-value: احتمال معنی‌داری. حروف غیرمشابه در هر ردیف بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

مقدار گاز تولید شده از جلبک *اسپیرولینا* پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون به‌طور معنی‌داری (P= ۰/۰۰۰۱) از کنجاله‌های سویا و کانولا کمتر بود (جدول ۶). این مساله می‌تواند دلیل کمتر بودن قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم جلبک *اسپیرولینا* نسبت به کنجاله‌های سویا و کانولا باشد. تفاوت در تولید گاز کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه در

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

ساعت ۲۴ با جلبک *اسپیرولینا* چندان زیاد نبوده (جدول ۶) و علاوه برآن مقدار پروتئین خام جلبک تفاوت بسیار زیادی با کنجاله‌های نامبرده شده دارد (جدول ۱) که این مساله احتمالاً دلیل بر بیشتر بودن مقدار قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم جلبک *اسپیرولینا* نسبت به کنجاله‌های آفتابگردان و تخم پنبه است. در این پژوهش، انرژی خالص شیردهی جلبک *اسپیرولینا* نسبت به کنجاله‌های سویا، کانولا و تخم پنبه کمتر بود (جدول ۸). از آنجایی که در برآورد انرژی خالص شیردهی علاوه بر مقدار گاز تولیدی در ساعت ۲۴ انکوباسیون، مقدار چربی خام نیز در نظر گرفته می‌شود (۲)، این مساله می‌تواند به مقدار کمتر گاز تولید شده جلبک *اسپیرولینا* پس از ۲۴ ساعت انکوباسیون و چربی خام کمتر آن نسبت به کنجاله‌های مذکور مربوط باشد. برآورد تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در آزمایش تولید گاز ارتباط شدیدی با مقدار گاز تولید شده در ساعت ۲۴ انکوباسیون دارد (۲)، از آنجایی که مقدار گاز تولید شده کنجاله‌های سویا، کانولا و تخم پنبه در ساعت ۲۴ (جدول ۶) به‌طور قابل توجهی از جلبک *اسپیرولینا* بیشتر است، این مساله می‌تواند علت کمتر بودن تولید اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در اثر تخمیر جلبک *اسپیرولینا* نسبت به کنجاله‌های مذکور باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که جلبک *اسپیرولینا* دارای مقدار پروتئین خام بیشتر و مقادیر اجزای دیواره سلولی کمتری نسبت به برخی کنجاله‌های پروتئینی رایج در تغذیه نشخوارکنندگان بود. وجود مقدار پروتئین زیاد در این ماده خوراکی از نظر تغذیه‌ای بسیار حائز اهمیت است. نتایج آزمایش تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای نشان داد که پروتئین خام موجود در جلبک *اسپیرولینا* نسبت به سایر مکمل‌های پروتئینی رایج در تغذیه نشخوارکنندگان از تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای بسیار بیشتری برخوردار است. بنابراین می‌توان از جلبک *اسپیرولینا* به‌عنوان یک منبع پروتئینی سریع تجزیه در جیره نشخوارکنندگان استفاده کرد. با توجه به این‌که جلبک *اسپیرولینا* دارای اجزای دیواره سلولی بسیار محدودی بوده و در مقابل از مقدار پروتئین خام زیادی برخوردار است می‌توان از این ماده خوراکی در تغذیه بره‌ها و گوساله‌های شیرخوار به‌عنوان مکمل پروتئینی در جیره استفاده کرد.

تشکر و قدردانی

از اعضای هیئت علمی و کارمندان موسسه تحقیقات علوم دامی کشور به‌منظور همکاری در انجام این پژوهش قدردانی می‌شود.

منابع

1. Agbagla-Dohnani, A., P. Noziere, G. Clement and M. Doreau. 2011. *In Sacco* degradability, chemical and morphological composition of 15 varieties of European rice straw. Animal Feed Science and Technology, 94: 15-27.
2. Akinfemi, A., O.A. Adu and F. Doherty. 2010. Conversion of sorghum stover into animal feed with white-rot fungi: *Pleurotus ostreatus* and *Pleurotus pulmonarius*. African Journal of Biotechnology, 9: 1706-1712.
3. AOAC. 2005. Official methods of analysis, 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA.
4. Babayemi, O.J. 2007. *In vitro* fermentation characteristics and acceptability by West African dwarf goats of some dry season forages. African Journal of Biotechnology, 6: 1260-1265.
5. Bach, S.J., Y. Wang and T.A. McAllister. 2008. Effect of feeding sun-dried seaweed (*Ascophyllum nodosum*) on fecal shedding of Escherichia coli O157: H7 by feedlot cattle and on growth performance of lambs. Animal Feed Science and Technology, 142: 17-23.
6. Blummel, M. and K. Becker. 1997. The degradability characteristics of fifty-four roughages and rough neutral detergent fiber as described *in vitro* gas production and their relation to voluntary intake. British Journal of Nutrition, 77: 757-768.
7. Costa, D.F.A., S.P. Quigley, P. Isherwood, S.R. McLennan and D.P. Poppi. 2016. Supplementation of cattle fed tropical grasses with microalgae increases microbial protein production and average daily gain. Journal of Animal Science, 94: 2047-2058.
8. Getachew, G., H.P.S. Makkar and K. Becker. 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.
9. Ghaeni, M., M. Matinfar, L. Roomiani and N. Choobkar. 2010. Chemical composition of *Spirulina* powder. Journal of Animal Environment, 1: 55-61 (In Persian).
10. Ha, J.K. and J.J. Kennelly. 1984. *In situ* dry matter and protein degradation of various protein sources in dairy cattle. Canadian Journal of Animal Science, 64: 443-452.
11. Habib, M.A.B., M. Parvin, T.C. Huntington and M.R. Hasan. 2008. A review on culture, production and use of *Spirulina* as food for humans and feeds for domestic animals and fish, FAO fisheries and aquaculture circular. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO), Rome, 1-26.
12. King, R. 2012. Economic value of algae as a livestock feed, in: R. King (ed.), Report to Energetix. RHK Consulting Pty., Essendon (Australia), pp: 1-11.
13. Lashkari, S., O. Azizi and H. Jahani-Azizabadi. 2015. Effects of different processing methods of flaxseed on ruminal degradability and *in vitro* post-ruminal nutrient disappearance. Archives of Animal Nutrition, 69: 177-186.

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

14. Lopez-Alonso, M., F. Rey-Crespo, I. Orjales, R. Rodriguez-Bermudez and M. Miranda. 2016. Effects of different strategies of mineral supplementation (marine algae alone or combined with rumen boluses) in organic dairy systems. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 100: 836-843.
15. Mahdavi Kalatenu, M., N.M. Torbatinejad, S. Zerehdaran, F. Moslemipour and R. Samiei. 2014. Utilize of guar meal instead common oil seeds meal in nutrition of Mazandaran male Zel fattening lambs. Journal of Ruminant Research, 2: 51-66 (In Persian).
16. Makkar, H.P.S., G. Tran, V. Heuze, S. Giger-Reverdin, M. Lessire, F. Lebas and P. Ankers. 2016. Seaweeds for livestock diets: a review. Animal Feed Science and Technology, 212: 1-17.
17. Matiwos, S., S. Melaku and A. Tolera. 2008. Supplementation of cotton seed meal on feed intake, digestibility and live weight and carcass parameters of Sidama goats. Livestock Science, 119: 137-144.
18. Menke, K.H. and H. Steingass. 1988. Estimation of energetic feed value obtained from chemical analysis and gas production using rumen fluid. Animal Research and Development, 28: 7-55.
19. Menke, K.H., L. Raab, H. Salewski, D. Fritz and W. Schneider. 1979. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminal feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquid *in vitro*. The Journal of Agricultural Science, 93: 217-222.
20. National Research Council. 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th revised edition. The National Academic Press, Washington, D.C. USA. 408 pp.
21. Ørskov, E.R. and I. McDonald. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. The Journal of Agricultural Science, 92: 499-503.
22. Panjaitan, T., S.P. Quigley, S.R. McLennan and D.P. Poppi. 2010. Effect of the concentration of *Spirulina* (*Spirulina platensis*) algae in the drinking water on water intake by cattle and the proportion of algae by passing the rumen. Animal Production Science, 50: 405-409.
23. Robertson, J.B. and P.J. Van Soest. 1981. The detergent system of analysis and its application to human foods. In: James W.P.T., Theander O. (Eds.), The Analysis of Dietary Fiber in Food. Marcel Dekker, NY, USA, pp: 123-158 (Chapter 9).
24. Safaie, A.R. 2014. Biological effects of grape pomace on methane gas production, degradability and performance improvement in ruminants. Ph.D. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, 134 pp (In Persian).
25. SAS. 2002. User's guide: Statistics, Version 9.1. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
26. Shawrang, P., A. Nikkhah, A. Zare-Shahneh, A.A. Sadeghi, G. Raisali and M. Moradishahrebabak. 2008. Effects of gamma irradiation on chemical composition and ruminal protein degradation of canola meal. Radiation Physics and Chemistry, 77: 918- 922.
27. Soren, N.M. and V.R.B. Sastry. 2009. Replacement of soybean meal with processed karanj (*Pongamia glabra*) cake on the balances of karanjin and nutrients, as well as microbial protein synthesis in growing lamb. Animal Feed Science and Technology, 149: 16-29.
28. Tahmorespour, M. and A. Tahmasebi. 2008. Assessment of animal and poultry feedstuff. Ferdowsi University of Mashhad publication, 224 pp (In Persian).
29. Van Soest, P.J., J.B. Robertson and B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharides in relation to animal's nutrition. Journal of Dairy Science, 74: 3583-3597.
30. Vosough Sharifi, O., A. Yaghoubfar, S.D. Sharifi, G. Mirzadeh and F. Askari. 2012. Study on the possibility of *Gracilariopsis persica* utilization in layer diets. Journal of Animal Production, 1: 1-10 (In Persian).

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]

Comparison Nutritive Value of *Spirulina Platensis* Algae with some Protein Meals used in Ruminant Nutrition

Mohammad Nasehi[1], Mohammad Entesarian[2] and Reza Pourjamshidian[2]

1- Researcher Shahid Absalan Center, Research Organization and Self-sufficiency Jihad of Nedsa, Tehran
(Corresponding author: Nasehi.md65@gmail.com)
2- Researcher Shahid Absalan Center, Research organization and Self-sufficiency Jihad of Nedsa, Tehran
Received: June 16, 2018 Accepted: January 31, 2019

Abstract

This study was conducted to determine of chemical composition, ruminal dry matter and crude protein degradability, gas production, organic matter digestibility, metabolizable energy, net energy for lactation and short chain fatty acids of *Spirulina platensis* algae and its comparison with soybean, canola, sunflower and cotton seed meals in cattle. The experiment of ruminal degradability conducted using two Taleshi steers with approximately 350 kg body weight at 0, 4, 8, 12, 24 and 48 hours incubation. Gas production technique was used for organic matter digestibility, metabolizable energy, net energy for lactation and short chain fatty acids of experimental treatments. For this propose, rumen liquid were taken from three fistulated Taleshi steers with approximately 335 kg body weight. *Spirulina* algae had the highest percentage (67.69%) of crude protein among experimental treatments (P= 0.0001). Potential ($a+b$) of ruminal dry matter degradability of *Spirulina* algae (98.69%) was significantly more than other experimental treatments (P= 0.0001). *Spirulina* algae had the highest amount (97.36%) of $a+b$ fraction of crude protein degradability among experimental treatments (P= 0.0001). Potential of gas production of *Spirulina* algae (35.77 ml/g DM) was significantly more than sunflower meal but it was significantly lower than soybean, canola and cotton seed meals (P= 0.0001). Organic matter digestibility (70.18%) and metabolizable energy (9.86 MJ/kg DM) of *Spirulina* algae were significantly more than sunflower and cotton seed meals but it was significantly lower than soybean and canola meals (P= 0.0001). Net energy for lactation (3.47 MJ/kg DM) and short chain fatty acids (0.61 M mol/g DM) of *Spirulina* algae had no significant difference with sunflower meal but it was significantly lower than other experimental treatments (P= 0.0001). Results of this study showed that *Spirulina* algae have more crude protein than usual protein meals which use in ruminant nutrition and its protein degradability is very high in the rumen. Therefore, *Spirulina* algae can be used as a fast degradable protein source in the ruminant diet.

Keywords: Chemical Compositions, Degradability, Digestibility, Gas Production, Protein Meals, Ruminal, *Spirulina Platensis* Algae

[Downloaded from rap.sanru.ac.ir on 2026-11-03]

[DOI: 10.29252/rap.10.24.27]