

## تعیین و مقایسه ارزش تغذیه‌ای، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تولید گاز سیلاژ واریته‌های مختلف کلزای علوفه‌ای کاریناتا (*Brasica Carinata*) در اواخر گلدهی

رادمان بختیاری\*

دانشجوی دکتری تغذیه دام، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

علیرضا بیات

دانشیار گروه علوم دامی، موسسه منابع طبیعی فنلاند

جیمز کی دراکلی

استاد گروه علوم دامی، دانشگاه صنعتی ایلینوی آمریکا

### چکیده

این پژوهش به منظور بررسی ارزش تغذیه‌ای، فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری و تولید گاز سیلاژ پنج واریته (با نام‌های ۶۲۰، ۶۲۶، ۶۳۱، ۶۳۷ و ۶۳۹) کلزای علوفه‌ای کاریناتا در مرحله اواخر گل‌دهی در قالب یک طرح کاملاً تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد که pH در واریته ۶۳۹ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. نمره فلیت در واریته ۶۳۷ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. درصد ماده خشک (DM)، پروتئین خام (CP) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) در واریته ۶۳۹ در مقایسه با سایر واریته‌ها مقادیر بالاتری به‌خود اختصاص داد. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات غیرالیافی در سیلاژ واریته ۶۳۷ در مقایسه با سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. بخش تند تجزیه DM در سیلاژ واریته‌های ۶۲۶ و ۶۳۷ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. بخش‌های کند تجزیه، بالقوه قابل تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر DM در واریته‌های ۶۳۷ و ۶۳۹ در مقایسه با سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بخش‌های کند تجزیه و بالقوه قابل تجزیه CP در سیلاژ واریته ۶۲۰ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری کمتر بود. ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر CP در واریته‌های ۶۳۱ و ۶۲۰ نسبت به سایر واریته‌های کاریناتا به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بخش بالقوه قابل تجزیه NDF در واریته‌های ۶۳۷ و ۶۳۱ نسبت به واریته ۶۲۰ به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. همچنین ثابت نرخ تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر NDF در واریته‌های ۶۲۰ و ۶۳۷ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم در سیلاژ واریته ۶۳۱ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در واریته ۶۳۹ در مقایسه با سایر واریته‌های کاریناتا به‌طور معنی‌داری کمتر بود. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، واریته ۶۳۷ در مرحله اواخر گل‌دهی نسبت به سایر واریته‌های کاریناتا توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: ارزش تغذیه‌ای، تجزیه‌پذیری، کاریناتا، واریته

## مقدمه

کمبود علوفه با کیفیت یکی از مشکلات اساسی در تغذیه نشخوارکنندگان است. از آنجایی که بیش تر مناطق ایران دارای آب و هوای خشک بوده، انتخاب انواع مناسب گیاهان علوفه‌ای می‌تواند به حل مشکل کمبود منابع خوراک دام‌ها کمک کند (Zougmore et al, ۲۰۱۶). تغییر الگوی کشت نباتات علوفه‌ای با انتخاب علوفه‌های زمستانه از اهمیت خاصی در مصرف آب برخوردار است (Ghahari et al, ۲۰۱۸). طی سال‌های اخیر کشت کلزای علوفه‌ای به‌عنوان زراعت دوم در کشورهای مختلف جهان متداول شده است. طبق گزارش جامعه اقتصادی اروپا (EEC)، عملکرد جهانی کلزا در سال ۲۰۲۲/۲۰۲۱ به ۶۸ میلیون تن رسید و کانادا از نظر عملکرد کل کلزا در رتبه اول جهانی قرار گرفت (Abdelrahman et al, ۲۰۲۲). براسیکاهای علوفه‌ای در برابر شرایط نامساعد مقاوم هستند و معمولاً به‌عنوان یک محصول ثانویه ترجیح داده می‌شوند (Kilic, ۲۰۰۹; Kilic and Erisek, ۲۰۱۹). علاوه بر این، گیاهان علوفه‌ای خانواده براسیکا به‌دلیل رشد سریع، عملکرد بالا و کیفیت مطلوب علوفه‌ای و قابلیت هضم بالایی که دارند در تأمین بخشی از علوفه نشخوارکنندگان اهمیت زیادی دارند (Ghahari et al, ۲۰۱۸). به‌عنوان مثال، کاریناتا (*Brassica carinata*) که یک گیاه دانه روغنی است، به‌عنوان علوفه در تغذیه دام در برخی از مناطق آفریقا استفاده می‌شود (Xin et al, ۲۰۱۳). از نظر مشخصات اسیدهای چرب، دانه کاریناتا دارای غلظت بالایی از اسیدهای چرب غیراشباع مانند ۱۸:۲ (n-۶) و ۱۸:۳ (n-۳) است (Ban et al, ۲۰۱۷). مشابه سایر گیاهان از خانواده براسیکاها، کاریناتا همچنین حاوی عوامل ضد تغذیه‌ای مانند گلوکوزینولات (۱۱۵/۲ میکرومول بر گرم) و اسید اروسیک (۴۰ درصد از کل اسیدهای چرب) است (Ban et al, ۲۰۱۷). با این حال، اصلاح و دستکاری ژنتیکی قادر به ایجاد کاریناتا با اروسیک خیلی کم است که حاوی ۵ تا ۱۰ درصد اسید اروسیک از کل اسیدهای چرب است (Paula et al, ۲۰۱۹). همچنین گزارش‌های دانشگاه ایالتی داکوتای شمالی نشان می‌دهد که علوفه کلزا از نظر غلظت مواد مغذی مشابه یونجه است (Lardy et al, ۲۰۱۸). هزینه نسبتاً پایین تولید علوفه کاریناتا، این محصول را به‌عنوان یک انتخاب اقتصادی برای تولید علوفه سریع رشد در مناطقی با منابع محدود ترویج می‌کند (Schulmeister et al, ۲۰۱۹). علاوه بر این، استفاده از محصولات علوفه‌ای براسیکا به‌منظور کاهش تولید متان در نشخوارکنندگان توصیه می‌شود (Kilic and Erisek, ۲۰۱۹). با این حال، کارایی هضم و استفاده از مواد مغذی در حیوانات ارتباط تنگاتنگی با گونه‌ها، مراحل فیزیولوژیک و مصرف خوراک دام دارد؛ بنابراین تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری علوفه یک پیوند ضروری در ارزیابی ارزش تغذیه‌ای برای نشخوارکنندگان است (Kaur et al, ۲۰۱۱; Wang et al, ۲۰۲۲). در پژوهش‌های پیشین با مقایسه تخریب شکمبه‌ای و قابلیت هضم مواد مغذی بین کلزا و کاریناتا در گاوهای هلشتاین خشک، گزارش شد که کاریناتا مشخصات مشابهی با کلزا داشت (Xin and Yu, ۲۰۱۴). بنابراین، این پژوهشی با هدف تعیین و مقایسه کیفیت و پتانسیل تجزیه‌پذیری و قابلیت هضم سیلاژ وارسته‌های مختلف کلزای علوفه‌ای کاریناتا انجام شد.

## روش تحقیق

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقات مرکز پژوهشی شرکت توسعه کشت دانه‌های روغنی و آزمایشگاه دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. پنج وارسته کلزای کاریناتا (تیمارهای ۶۲۰، ۶۲۶، ۶۳۱، ۶۳۷ و ۶۳۹) در شرایط محیطی یکسان در کرت‌های آزمایشی کشت شدند تا تفاوت اثرات محیطی بر وارسته‌ها به حداقل برسد و اختلافات به‌دست آمده تنها ناشی از تفاوت ژنتیکی وارسته‌ها باشد. از هر کرت کل گیاهان در یک متر مربع، با روش دستی برداشت شده و نمونه‌های کافی از گیاه در کیسه‌های نایلونی سیلو شدند. پس از ۴۵ روز سیلوه‌ها بازگشایی شده و خصوصیات ظاهری و کیفی سیلاژها بررسی شدند. پس از بازگشایی سیلوه‌های آزمایشی، ترکیبات شیمیایی سیلاژها شامل ماده خشک، پروتئین خام، عصاره اتری و خاکستر (AOAC, ۲۰۰۵) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی (Van Soest et al, ۱۹۹۱) و کربوهیدرات غیرالیافی (NRC, ۲۰۰۱) اندازه‌گیری شد. بلافاصله پس از بازگشایی سیلوه‌های آزمایشی، تهیه عصاره برای اندازه‌گیری pH انجام شد و نمره فلینک سیلوه‌ها محاسبه گردید (Kilic, ۱۹۸۶). ویژگی‌های فیزیکی و ارزشیابی ظاهری مواد سیلویی از روی بو، ساختمان ظاهری و رنگ سیلاژ انجام گرفت (McDonald et al, ۱۹۹۱).

در این آزمایش تعداد ۳ رأس گوسفند نژاد افشاری دارای فیستوله شکمبه‌ای با میانگین وزن  $55 \pm 2$  کیلوگرم به منظور تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری در جایگاهی مسقف و نیمه‌باز، در قفس‌های متابولیک با دسترسی آزاد به آب نگهداری شدند. در طول دوره عادت‌پذیری خوراک (۱۴ روز اول) در حد اشتها داده شده و در طی آزمایش، جیره به حد نگهداری تقلیل یافت. دام‌های آزمایشی دو بار در روز (۸ صبح و ۲۰ عصر) تغذیه شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن با آسیاب دارای الک ۲ میلی‌متری آسیاب شدند و مقدار ۴ گرم نمونه داخل کیسه‌های نایلونی (قطر منافذ ۴۸ میکرومتر و ابعاد  $10 \times 15$  سانتی‌متر) از جنس الیاف پلی‌استر مصنوعی ریخته شد. کیسه‌ها به مدت صفر، ۲، ۴، ۶، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت داخل شکمبه قرار داده شد. پس از خروج از شکمبه بلافاصله با آب سرد شست‌وشو داده شده، سپس داخل آون قرار داده شدند. با استفاده از رابطه (۱) فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری محاسبه شدند (Ørskov and McDonald, ۱۹۷۹).

$$P = a + b(1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه، P: درصد تجزیه‌پذیری ماده مغذی در زمان t؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: عدد نپری؛ t: زمان انکوباسیون (ساعت) هستند. محاسبه درصد تجزیه‌پذیری مؤثر نمونه‌ها بر اساس رابطه (۲) با نرخ عبور فرضی ۰/۰۲، ۰/۰۵ و ۰/۰۸ درصد در ساعت انجام شد:

$$ED = a + \{(b \times c)/(c + k)\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، ED: فراسنجه تجزیه‌پذیری مؤثر در شکمبه؛ a: بخش سریع تجزیه (درصد)؛ b: بخش کند تجزیه (درصد)؛ c: ثابت نرخ تجزیه؛ k: ثابت نرخ عبور فرضی هستند.

گاز تولیدی مطابق با روش منک و استینگس (Menke and Steingass, ۱۹۸۸) اندازه‌گیری شد. مایع شکمبه قبل از خوراک‌دهی صبح از ۳ رأس گوسفند دارای فیستولای شکمبه‌ای جمع‌آوری گردید. مقدار ۰/۲ گرم از ماده خشک نمونه‌های آزمایشی آسیاب‌شده در داخل سرنگ‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با مایع شکمبه و بزاق مصنوعی (با نسبت ۱ به ۲) در حمام آبی با دمای ثابت ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. حجم گاز تولیدی در زمان‌های صفر، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۳۶، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت ثبت شده و داده‌ها با استفاده از رابطه (۳) برازش شدند:

$$P = b(1 - e^{-ct}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه، P: ظرفیت تولید گاز؛ b: گاز تولیدشده از بخش قابل تخمیر (میلی‌لیتر)؛ c: ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر بر ساعت)؛ t: زمان انکوباسیون (ساعت) و e: عدد نپری است. میزان انرژی قابل متابولیسم از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$ME \text{ (MJ/kg DM)} = 2,20 + 0,1307GP + 0,0057CP + 0,002859000^2 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در این رابطه، ME: انرژی قابل متابولیسم (مگاژول در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و EE: چربی خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. همچنین قابلیت هضم ماده آلی<sup>۱</sup> با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد:

$$OMD = 14,88 + 0,889GP + 0,045CP + 0,0651000 \quad \text{رابطه (۵)}$$

در این رابطه، OMD: قابلیت هضم ماده آلی (گرم در کیلوگرم ماده خشک)؛ GP: حجم گاز تولیدی تصحیح‌شده برای ۲۴ ساعت (میلی‌لیتر به ازای ۲۰۰ میلی‌گرم ماده خشک)؛ CP: پروتئین خام (گرم در کیلوگرم ماده خشک) و Ash: خاکستر (گرم در کیلوگرم ماده خشک) است. برای برآورد اسیدهای چرب کوتاه زنجیر<sup>۲</sup> از رابطه (۶) (Getachew et al, ۱۹۹۸) استفاده شد:

$$SCFA \text{ (mMol/200 mgDM)} = 0,0229GP - 0,0601 \quad \text{رابطه (۶)}$$

<sup>۱</sup> - Organic matter digestibility (OMD)

<sup>۲</sup> - Short chain fatty acid (SCFA)

در این رابطه، SCFA: اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی مول به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) و GP: حجم گاز تولیدی تصحیح شده برای ۲۴ ساعت (میلی لیتر به ازای ۲۰۰ میلی گرم ماده خشک) است.

داده های حاصل از آزمایش با استفاده از رویه GLM نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ با مدل آماری زیر (رابطه ۷) آنالیز شدند:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در این رابطه،  $Y_{ij}$ : مقدار هر مشاهده؛  $\mu$ : میانگین جامعه؛  $T_i$ : اثر تیمارها؛  $e_{ij}$ : خطای آزمایشی هستند. مقایسه میانگین ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح معنی داری ۰/۰۵ انجام شد.

## یافته ها

### ارزیابی ظاهری و شیمیایی سیلاژهای کاریناتا

ویژگی های کیفی و ترکیبات شیمیایی سیلاژهای کاریناتا در تیمارهای مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است. نمره سیلو در بین تیمارهای آزمایشی تمایل به معنی داری داشت ( $P=0/0508$ ). با این وجود، سیلاژ واریته های ۶۳۹ و ۶۳۷ بالاترین نمره را به خود اختصاص دادند. pH در واریته ۶۳۹ نسبت به سایر واریته ها به طور معنی داری بیشتر بود ( $P<0/0001$ ). نمره فلیت در واریته ۶۳۷ نسبت به سایر واریته ها به طور معنی داری بالاتر بود ( $P<0/0001$ ). ماده خشک در واریته های ۶۳۹ و ۶۲۶ نسبت به سایر واریته ها به طور معنی داری بالاتر بود ( $P=0/0042$ ). درصد پروتئین خام ( $P<0/0001$ ) و الیاف نامحلول در شوینده خنثی ( $P=0/0004$ ) در واریته ۶۳۹ نسبت به سایر واریته ها بالاترین مقادیر مشاهده شد. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در سیلاژ واریته های ۶۳۷ و ۶۳۹ در مقایسه با سایر واریته ها به طور معنی داری بالاتر بود ( $P<0/0001$ ). همچنین کربوهیدرات غیرالیافی در واریته های ۶۳۷ و ۶۲۰ بالاترین مقادیر را به خود اختصاص دادند ( $P=0/0245$ ). درصد چربی خام تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار نگرفت ( $P>0/05$ ).

جدول ۱- ارزیابی ظاهری و ترکیبات شیمیایی سیلاژ واریته های مختلف کلزای کاریناتا

Table 1 - Visual assessment and chemical composition of silage from different varieties of carinata rapeseed

Table 1. Visual assessment and chemical composition of silage from different varieties of carinata (Pappad)							
احتمال	خطای استاندارد	تیمارهای آزمایشی (واریته‌های کاریناتا)					موارد
معنی‌داری	میانگین	Experimental treatments (Carinata varieties)					Items
P-value	SEM	۶۲۶	۶۳۹	۶۲۰	۶۳۱	۶۳۷	
ارزیابی ظاهری (Visual Assessment)							
۰.۰۵۰۸	۰.۱۰۸	۱۷.۸۳	۱۹.۴۳	۱۹.۳۳	۱۸.۹۳	۱۹.۴۰	نمره سیلو (۲۰ نمره) (Total, ۲۰ points)
<۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۸	۴.۴۱ <sup>b</sup>	۴.۴۸ <sup>a</sup>	۴.۰۷ <sup>c</sup>	۴.۰۷ <sup>c</sup>	۴.۰۱ <sup>d</sup>	اسیدیته (pH)
<۰.۰۰۰۱	۰.۴۰۵	۸۴.۳۷ <sup>c</sup>	۸۱.۴۱ <sup>d</sup>	۹۳.۳۱ <sup>b</sup>	۹۴.۴۹ <sup>b</sup>	۹۸.۰۳ <sup>a</sup>	نمره فلیت (Flight point)
ترکیب شیمیایی (درصد) (Chemical Composition, %)							
۰.۰۰۴۲	۰.۱۶۹	۲۷.۹۵ <sup>a</sup>	۲۷.۹۳ <sup>a</sup>	۲۶.۵۵ <sup>b</sup>	۲۶.۲۷ <sup>b</sup>	۲۶.۶۴ <sup>b</sup>	ماده خشک (DM)
<۰.۰۰۰۱	۰.۰۴۳	۱۴.۳ <sup>c</sup>	۱۵.۰۵ <sup>a</sup>	۱۳.۰۳ <sup>d</sup>	۱۴.۶۹ <sup>b</sup>	۱۰.۳۱ <sup>d</sup>	پروتئین خام (CP)
۰.۶۸۹۰	۰.۳۸۱	۷.۶۱	۶.۶۹	۷.۶۵	۷.۱۷	۸.۶۳	چربی خام (EE)
۰.۰۰۰۴	۰.۲۴۹	۵۸.۰۹ <sup>c</sup>	۶۲.۰۷ <sup>a</sup>	۵۶.۶۵ <sup>c</sup>	۵۸.۲۴ <sup>c</sup>	۶۰.۱۵ <sup>b</sup>	الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF)
<۰.۰۰۰۱	۰.۱۴۸	۳۷.۰۷ <sup>d</sup>	۴۱.۷۴ <sup>a</sup>	۳۹.۷۰ <sup>c</sup>	۳۷.۷۸ <sup>d</sup>	۴۳.۴۸ <sup>a</sup>	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (ADF)
۰.۰۰۹۳	۰.۱۵۶	۷.۳۳ <sup>a</sup>	۵.۸۳ <sup>b</sup>	۶.۳۵ <sup>ab</sup>	۷.۳۴ <sup>a</sup>	۵.۴۲ <sup>b</sup>	خاکستر (Ash)
۰.۰۲۴۵	۰.۵۲۸	۱۲.۶۷ <sup>ab</sup>	۱۰.۰۹ <sup>b</sup>	۱۶.۳۳ <sup>a</sup>	۱۲.۵۶ <sup>ab</sup>	۱۵.۴۸ <sup>a</sup>	کربوهیدرات غیرالیافی (NFC)

\*میانگین هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی دار هستند ( $P<0/05$ ).

\*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ( $P<0/05$ ).

### تجزیه پذیری ماده خشک

آنالیز نتایج فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک در تیمارهای مختلف در جدول (۲) ارائه شده است. بخش تند تجزیه ماده خشک در سیلاژ واریته‌های ۶۲۶ و ۶۳۷ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ( $P=0/0004$ ). با این وجود، بخش‌های کند تجزیه ( $P=0/0006$ ) و بالقوه قابل تجزیه ( $P=0/0008$ ) در واریته‌های ۶۳۷ و ۶۳۹ در مقایسه با سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و بخش غیر قابل تجزیه در واریته ۶۳۱ نسبت به سایر تیمارها بالاترین مقدار را به‌خود اختصاص داد ( $P=0/0008$ ). تیمارهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری بر ثابت نرخ تجزیه نداشتند ( $P>0/05$ ). تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲ درصد ( $P=0/002$ )، ۵ درصد ( $P=0/0077$ ) و ۸ درصد ( $P=0/0151$ ) در واریته ۶۳۷ و ۶۳۹ نسبت به سایر واریته‌های کاریناتا به‌طور معنی‌داری بالاتر بود.

جدول ۲- تجزیه‌پذیری ماده خشک سیلاژ واریته‌های مختلف کلزای کاریناتا  
Table ۲ - DM degradability of silage from different varieties of carinata rapeseed

احتمال معنی‌داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی (واریته‌های کاریناتا) Experimental treatments (Carinata varieties)					موارد Items
		۶۲۶	۶۳۹	۶۲۰	۶۳۱	۶۳۷	
۰.۰۰۰۴	۰.۰۸۳	۱۲.۴۴ <sup>a</sup>	۱۱.۳۶ <sup>b</sup>	۱۱.۵۹ <sup>b</sup>	۱۰.۶۸ <sup>c</sup>	۱۲.۲۱ <sup>a</sup>	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۰۰۰۶	۰.۵۰۹	۶۶.۵۲ <sup>bc</sup>	۷۲.۶۲ <sup>a</sup>	۶۸.۲۰ <sup>b</sup>	۶۳.۱۰ <sup>c</sup>	۷۲.۷۲ <sup>a</sup>	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۰۰۰۸	۰.۵۷۵	۷۸.۹۷ <sup>b</sup>	۸۳.۹۹ <sup>a</sup>	۷۹.۷۹ <sup>b</sup>	۷۳.۷۸ <sup>c</sup>	۸۴.۹۴ <sup>a</sup>	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۰۰۰۸	۰.۵۷۵	۲۱.۰۲ <sup>b</sup>	۱۶.۰۱ <sup>c</sup>	۲۰.۲۰ <sup>b</sup>	۲۶.۲۲ <sup>a</sup>	۱۵.۰۵ <sup>c</sup>	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
۰.۹۹۳۸	۰.۰۰۵	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۴	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
							تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۰۲۲	۰.۴۱۶	۴۳.۷۴ <sup>bc</sup>	۴۷.۹۵ <sup>a</sup>	۴۴.۹۷ <sup>b</sup>	۴۱.۶۳ <sup>c</sup>	۴۸.۲۷ <sup>a</sup>	۰.۰۲
۰.۰۰۷۷	۰.۳۷۶	۳۲.۶۰ <sup>b</sup>	۳۵.۸۰ <sup>a</sup>	۳۳.۵۵ <sup>ab</sup>	۳۱.۰۷ <sup>b</sup>	۳۶.۱۲ <sup>a</sup>	۰.۰۵
۰.۰۱۵۱	۰.۳۳۵	۲۵.۹۹ <sup>b</sup>	۲۸.۵۶ <sup>a</sup>	۲۶.۷۶ <sup>ab</sup>	۲۴.۷۹ <sup>b</sup>	۲۸.۸۶ <sup>a</sup>	۰.۰۸

\*میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ( $P<0/05$ ).

\*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ( $P<0/05$ ).

### تجزیه‌پذیری پروتئین خام

نتایج مربوط به فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری پروتئین خام سیلاژهای کاریناتا در جدول (۳) نشان داده شده است. بخش تند تجزیه پروتئین خام در سیلاژ واریته ۶۳۷ نسبت به سایر واریته‌های آزمایشی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ( $P=0/0005$ ). بخش‌های کند تجزیه ( $P=0/0250$ ) و بالقوه قابل تجزیه ( $P=0/0059$ ) در سیلاژ واریته ۶۲۰ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری کمتر بود ( $P=0/0250$ ). در نتیجه آن، بخش غیر قابل تجزیه در واریته ۶۲۰ در مقایسه با سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. ثابت نرخ تجزیه در واریته‌های ۶۳۱ و ۶۲۰ نسبت به سایر واریته‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ( $P<0/0001$ ). تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲ درصد ( $P=0/0013$ )، ۵ درصد ( $P=0/0003$ ) و ۸ درصد ( $P=0/0002$ ) در واریته‌های ۶۳۱ و ۶۲۰ نسبت به سایر واریته‌های کاریناتا به‌طور معنی‌داری بیشتر بود.

جدول ۳- تجزیه پذیری پروتئین خام سیلاژ وارپته های مختلف کلزای کاریناتا  
Table ۳- CP Degradability of silage from different varieties of carinata rapeseed

احتمال معنی داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی (وارپته های کاریناتا) Experimental treatments (Carinata varieties)					موارد Items
		۶۲۶	۶۳۹	۶۲۰	۶۳۱	۶۳۷	
۰.۰۰۰۵	۰.۱۴۱	۱۵.۲۰ <sup>ab</sup>	۱۴.۲۷ <sup>b</sup>	۱۲.۸۷ <sup>c</sup>	۱۲.۹۷ <sup>c</sup>	۱۵.۳۳ <sup>a</sup>	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۰۰۲۵۰	۰.۲۷۴	۴۹.۸۳ <sup>ab</sup>	۵۱.۶۹ <sup>a</sup>	۴۸.۱۶ <sup>b</sup>	۵۰.۶۷ <sup>a</sup>	۵۰.۳۳ <sup>a</sup>	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۰۰۰۵۹	۰.۳۴۰	۶۵.۰۴ <sup>a</sup>	۶۵.۹۷ <sup>a</sup>	۶۱.۰۳ <sup>b</sup>	۶۳.۶۵ <sup>a</sup>	۶۵.۶۴ <sup>a</sup>	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۰۰۰۵۹	۰.۳۴۰	۳۴.۹۶ <sup>b</sup>	۳۴.۰۳ <sup>b</sup>	۳۸.۹۶ <sup>a</sup>	۳۶.۳۴ <sup>b</sup>	۳۴.۳۵ <sup>b</sup>	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
<۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۷	۰.۰۳ <sup>b</sup>	۰.۰۳ <sup>c</sup>	۰.۰۴ <sup>a</sup>	۰.۰۴ <sup>a</sup>	۰.۰۳ <sup>c</sup>	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
							تجزیه پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۰۰۱۳	۰.۳۴۱	۳۱.۹۲ <sup>ab</sup>	۲۹.۹۰ <sup>bc</sup>	۳۳.۸۳ <sup>a</sup>	۳۴.۳۸ <sup>a</sup>	۲۸.۶۲ <sup>c</sup>	۰.۰۲
۰.۰۰۰۰۳	۰.۳۲۰	۲۳.۴۹ <sup>b</sup>	۲۱.۰۶ <sup>c</sup>	۲۶.۰۸ <sup>a</sup>	۲۶.۰۱ <sup>a</sup>	۲۰.۰۱ <sup>c</sup>	۰.۰۵
۰.۰۰۰۰۲	۰.۲۸۴	۱۸.۵۸ <sup>b</sup>	۱۶.۲۶ <sup>c</sup>	۲۱.۲۳ <sup>a</sup>	۲۰.۹۲ <sup>a</sup>	۱۵.۳۹ <sup>c</sup>	۰.۰۸

\*میانگین هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی دار هستند ( $P < 0.05$ ).

\*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ( $P < 0.05$ ).

### تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی

مقایسه میانگین های فراسنجه های تجزیه پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی تیمارهای آزمایشی در جدول (۴) آورده شده است. بخش تند تجزیه الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سیلاژ وارپته های ۶۳۱ و ۶۲۰ نسبت به سایر وارپته ها به طور معنی داری کمتر بود ( $P = 0.016$ ). با این وجود، بخش کند تجزیه در وارپته ۶۳۱ در مقایسه با سایر وارپته ها به طور معنی داری بالاتر بود ( $P = 0.012$ ). بخش بالقوه قابل تجزیه در وارپته های ۶۳۷ و ۶۳۱ نسبت به وارپته ۶۲۰ به طور معنی داری بیشتر بود ( $P = 0.0443$ ). بخش غیر قابل تجزیه در وارپته ۶۲۰ در مقایسه با سایر وارپته ها بالاترین مقدار را به خود اختصاص داد ( $P = 0.0443$ ). در وارپته های ۶۲۰ و ۶۳۷ بالاترین مقادیر ثابت نرخ تجزیه مشاهده شد ( $P = 0.0152$ ). تجزیه پذیری مؤثر در نرخ عبور ۲ درصد ( $P = 0.0212$ )، ۵ درصد ( $P = 0.0337$ ) و ۸ درصد ( $P = 0.0325$ ) در وارپته های ۶۲۰ و ۶۳۷ نسبت به سایر وارپته ها به طور معنی داری بالاتر بود.

### تولید گاز

نتایج حاصل از مقایسه میانگین های فراسنجه های تولید گاز در تیمارهای آزمایشی در جدول (۵) گزارش شده است. تفاوت آماری معنی داری در گاز تولیدی در ۹۶ ساعت، پتانسیل تولید گاز و ثابت نرخ تولید گاز در بین تیمارهای آزمایشی مشاهده نشد ( $P > 0.05$ ). قابلیت هضم ماده آلی ( $P = 0.041$ ) و انرژی قابل متابولیسم ( $P = 0.053$ ) در سیلاژ وارپته ۶۳۱ نسبت به

سایر واریته‌های آزمایشی به جز واریته ۶۲۶ به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. غلظت اسیدهای چرب کوتاه زنجیر در واریته ۶۳۹ مقایسه با سایر واریته‌های کاریناتا به‌طور معنی‌داری کمتر بود ( $P=0/0071$ ).

جدول ۴- تجزیه‌پذیری الیاف نامحلول در شوینده خنثی سیلاژ واریته‌های مختلف کلزای کاریناتا  
Table ۴- NDF Degradability of silage from different varieties of carinata rapeseed

احتمال معنی‌داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی (واریته‌های کاریناتا) Experimental treatments (Carinata varieties)					موارد Items
		۶۲۶	۶۳۹	۶۲۰	۶۳۱	۶۳۷	
۰.۰۰۱۶	۰.۳۲۶	۲۱.۸۷ <sup>a</sup>	۲۱.۳۳ <sup>a</sup>	۱۸.۷۲ <sup>b</sup>	۱۶.۸۳ <sup>b</sup>	۲۲.۱۲ <sup>a</sup>	بخش تند تجزیه (درصد) Rapidly degraded fraction (%)
۰.۰۰۱۲	۰.۴۴۱	۴۷.۳۴ <sup>b</sup>	۴۶.۲۳ <sup>b</sup>	۴۶.۲۲ <sup>b</sup>	۵۳.۹۶ <sup>a</sup>	۴۹.۲۲ <sup>b</sup>	بخش کند تجزیه (درصد) Slowly degraded fraction (%)
۰.۰۴۴۳	۰.۶۰۸	۶۹.۲۱ <sup>ab</sup>	۶۷.۵۶ <sup>ab</sup>	۶۴.۹۴ <sup>b</sup>	۷۰.۷۹ <sup>a</sup>	۷۱.۳۴ <sup>a</sup>	بخش بالقوه قابل تجزیه (درصد) Potentially degradable fraction (%)
۰.۰۴۴۳	۰.۶۰۸	۳۰.۷۹ <sup>ab</sup>	۳۲.۴۳ <sup>ab</sup>	۳۵.۰۵ <sup>a</sup>	۲۹.۲۱ <sup>b</sup>	۲۸.۶۵ <sup>b</sup>	بخش غیر قابل تجزیه (درصد) Undegradable fraction (%)
۰.۰۱۵۲	۰.۰۰۱	۰.۰۳ <sup>bc</sup>	۰.۰۳ <sup>abc</sup>	۰.۰۴ <sup>a</sup>	۰.۰۳ <sup>c</sup>	۰.۰۴ <sup>ab</sup>	ثابت نرخ تجزیه (درصد در ساعت) Constant rate of degradation (%/h)
							تجزیه‌پذیری مؤثر در نرخ عبور (درصد در ساعت) Effective degradability with different passage rate (%/h)
۰.۰۲۱۲	۰.۳۱۲	۲۹.۹۶ <sup>b</sup>	۲۹.۸۴ <sup>b</sup>	۳۲.۷۱ <sup>a</sup>	۳۱.۸۲ <sup>ab</sup>	۳۳.۰۸ <sup>a</sup>	۰.۰۲
۰.۰۳۳۷	۰.۳۶۳	۲۱.۹۳ <sup>c</sup>	۲۲.۱۲ <sup>c</sup>	۲۵.۳۳ <sup>a</sup>	۲۲.۵۷ <sup>bc</sup>	۲۴.۹۷ <sup>ab</sup>	۰.۰۵
۰.۰۳۲۵	۰.۳۵۵	۱۷.۳۰ <sup>c</sup>	۱۷.۵۹ <sup>bc</sup>	۲۰.۶۵ <sup>a</sup>	۱۷.۴۸ <sup>bc</sup>	۲۰.۰۶ <sup>ab</sup>	۰.۰۸

\*میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ( $P<0/05$ ).

\*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ( $P<0/05$ ).

جدول ۵- تولید گاز سیلاژ واریته‌های مختلف کلزای کاریناتا

Table ۵ - Gas production of silage from different varieties of carinata rapeseed

احتمال معنی‌داری P-value	خطای استاندارد میانگین SEM	تیمارهای آزمایشی (واریته‌های کاریناتا) Experimental treatments (Carinata varieties)					موارد Items
		۶۲۶	۶۳۹	۶۲۰	۶۳۱	۶۳۷	
۰.۰۹۵۰	۰.۴۹۱	۲۳.۱۶	۲۰.۰۰	۲۱.۶۶	۲۴.۱۶	۲۴.۱۶	گاز تولیدی در ۹۶ ساعت (میلی‌لیتر) Gas production at ۹۶ hours (mL)
۰.۰۸۷۷	۰.۵۱۹	۲۶.۱۳	۲۳.۱۷	۲۴.۸۷	۲۸.۳۳	۲۶.۶۸	پتانسیل تولید گاز (میلی‌لیتر) Gas production potential (mL)
۰.۱۸۵۷	۰.۰۰۱	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	ثابت نرخ تولید گاز (میلی‌لیتر/ساعت) Gas production rate (mL/hour)
۰.۰۰۴۱	۰.۲۴۶	۳۹.۱۴ <sup>ab</sup>	۳۶.۲۳ <sup>d</sup>	۳۸.۱۱ <sup>bc</sup>	۴۰.۱۷ <sup>a</sup>	۳۷.۲۸ <sup>cd</sup>	قابلیت هضم ماده آلی (درصد) Organic matter digestibility (%)
۰.۰۰۵۳	۰.۰۶۰	۵۶۷ <sup>ab</sup>	۵۲۳ <sup>c</sup>	۵۵۳ <sup>b</sup>	۵۸۲ <sup>a</sup>	۵۴۴ <sup>bc</sup>	انرژی قابل متابولیسم (مگاژول/کیلوگرم) Metabolizable energy (MJ/kg DM)
۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۶	۰.۴۳ <sup>a</sup>	۰.۳۵ <sup>b</sup>	۰.۴۲ <sup>a</sup>	۰.۴۵ <sup>a</sup>	۰.۴۳ <sup>a</sup>	اسیدهای چرب کوتاه زنجیر (میلی‌مول) Short chain fatty acids (mMol)

\*میانگین‌هایی که در هر ردیف با حروف لاتین متفاوت نشان داده شده است دارای اختلاف معنی‌دار هستند ( $P<0/05$ ).

\*The averages shown in different Latin letters in each row indicate statistically significant differences ( $P<0/05$ ).



## بحث و نتیجه گیری

در پژوهش‌های پیشین نشان داده شد که محتوای مواد مغذی براسیکاها در گونه‌های مختلف متفاوت است و در طول دوره‌های مختلف رویشی تغییر می‌کند (Sun et al, ۲۰۱۲; Westwood and Mulcock, ۲۰۱۲; Canbolat, ۲۰۱۳). در پژوهشی با مقایسه چهار رقم علوفه کلزا، گزارش شد که غلظت ماده آلی، پروتئین خام، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و لیگنین به ترتیب بین ۸۶۲ تا ۸۶۵، ۲۴۷ تا ۲۹۵، ۳۴۰ تا ۳۵ و ۵۳ گرم بر کیلوگرم ماده خشک بود (Safaei et al, ۲۰۲۲). در پژوهشی، پنج گونه از Brassica از جمله کلزا علوفه‌ای را بررسی کردند و محتوای ماده خشک بین ۱۳/۴ و ۱۷/۵ درصد، محتوای پروتئین خام بین ۹/۱ تا ۱۳/۲ درصد، محتوای خاکستر خام بین ۸/۵ تا ۱۰/۳ درصد و محتوای کربوهیدرات محلول در آب کلزا را بین ۱۹/۲ تا ۴۹/۸ درصد گزارش کردند (Westwood & Mulcock, ۲۰۱۲). در پژوهشی دیگر، محتوای پروتئین خام کلزا در محدوده‌های بین ۷/۷۶ تا ۱۴/۶۰ درصد، ۸/۰۶ تا ۱۲/۰۲ درصد و ۹/۶۸ تا ۱۳/۳۰ درصد به ترتیب برای سیلاژ، علوفه تازه و علوفه خشک بود (Kilic et al, ۲۰۲۱) که این نتایج با نتایج پژوهش حاضر از نظر محدوده درصد پروتئین خام در سیلاژ واریته‌های مختلف کاریناتا همخوانی دارد. با بررسی ترکیبات شیمیایی محصولات علوفه‌ای براسیکا در پژوهشی گزارش شد که سیلاژ کلزا بالاترین مقدار را برای محتوای عصاره اتری داشت (Kilic et al, ۲۰۲۱). در پژوهشی گزارش شد که در طول دوره‌های مختلف رویشی کلزا، محتوای ماده خشک از ۱۹ تا ۳۳/۷۰ درصد، محتوای عصاره اتری از ۲/۲۱ تا ۹/۶۶ درصد، محتوای الیاف نامحلول در شوینده خنثی از ۳۶/۰۸ تا ۷۷/۱۶ درصد و محتوای الیاف نامحلول در شوینده اسیدی از ۲۳/۴۸ تا ۵۶/۷۵ درصد تغییر می‌کند (Canbolat, ۲۰۱۳) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. در پژوهشی دیگر، گزارش شد که کنجاله کاریناتا در مقایسه با کنجاله کلزا، دارای غلظت پروتئین خام بیشتر و فیبر کمتر است و غلظت پروتئین تجزیه نشده (RUP) و پارامترهای تخمیر مشابه با کنجاله کلزا است (Xin and Yu, ۲۰۱۴). به طور کلی، انتخاب رقم براسیکا در برخی شرایط ممکن است ارزش تغذیه‌ای کل گیاه را تغییر دهد، با این حال، سایر عوامل از جمله زمان کاشت، مرحله برداشت و ماندگاری برگ در زمان بلوغ محصول، تعدیل‌کننده‌های بالقوه مهم ارزش تغذیه‌ای کل گیاه هستند.

ابرسجی و همکاران (Abarsaji et al, ۲۰۰۸) بیان داشتند که میزان کربوهیدرات‌های محلول و پروتئین خام در مرحله رویشی گیاه بالاتر بوده و سبب افزایش میزان تجزیه‌پذیری می‌شود. تولید گاز با تخمیر آزمایشگاهی خوراک می‌تواند درجه تخمیر خوراک در شکمبه، تعداد میکروارگانیسم‌های شکمبه، تجزیه‌پذیری و ویژگی‌های بستر تخمیر را منعکس کند (Gonzalez et al, ۲۰۲۲; Wang et al, ۲۰۲۳). منبع تولید گاز از علوفه در شرایط آزمایشگاهی عمدتاً کربوهیدرات‌ها هستند. پروتئین‌های موجود در آن‌ها نیز هنگام تخمیر در شرایط آزمایشگاهی، بخشی از گاز را تولید می‌کنند، اما سهم پروتئین در تولید گاز بسیار کمتر از کربوهیدرات‌ها در کل فرآیند تخمیر آزمایشگاهی است (Wang et al, ۲۰۲۲). با نمو گیاه هر چه میزان پروتئین خام کاهش یابد درصد ناپدید شدن ماده خشک نیز کاهش می‌یابد (Abdulrazak et al, ۲۰۰۰). در پژوهشی گزارش شد که کلزا از نظر محتوای کربوهیدرات و پروتئین که می‌تواند توسط میکروارگانیسم‌های شکمبه استفاده شود، ضعیف است، در حالی که غنی از عناصر ساختاری دیواره سلولی (ADF، NDF و ADL) به‌ویژه افزایش محتوای ADF است که بر قابلیت هضم تأثیر منفی می‌گذارد (Karabulut et al, ۲۰۰۷). اگرچه غلظت مواد مغذی براسیکا‌های زمستانه و تغییرات بین گونه‌ها به‌طور گسترده توصیف شده است و استفاده از آن‌ها در گوسفند (Sun et al, ۲۰۱۲)، گاوهای خشک (Rugoho & Edwards, ۲۰۱۸) و گاوهای شیری (Keogh et al, ۲۰۰۹) گزارش شده‌اند، مطالعات کمی فرآیندهای تخمیر شکمبه‌ای براسیکا‌های زمستانی را ارزیابی کرده‌اند. در پژوهشی با مقایسه چهار رقم علوفه کلزا Global، Midas، Orient و Hybrid (Cobra×Regent) با جو سبز زمستانه بر فراسنجه‌های تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که پتانسیل تولید گاز، قابلیت هضم ماده آلی و انرژی قابل متابولیسم در رقم Orient و Midas به دلیل غلظت کمتر لیگنین در آن‌ها، بیشتر از Global و Hybrid بود و در مقایسه با ارقام کلزای زمستانه، علوفه جو دارای پتانسیل تولید گاز بالاتر، اما قابلیت هضم ماده آلی کمتر در شرایط آزمایشگاهی بودند که احتمالاً به دلیل پروتئین بالاتر و لیگنین کمتر در ارقام کلزا بود (Safaei et al, ۲۰۲۲). این تفاوت ممکن است به ترکیب شیمیایی نسبت داده شود، زیرا سیلاژ علوفه‌هایی با محتوای NDF کمتر و NSC بالاتر، تولید گاز بیشتری دارند؛ این مورد به



این دلیل است که نرخ‌های تولید گاز در شرایط آزمایشگاهی، گاز تولید شده از بخش محلول را در نظر می‌گیرند (Daza et al, ۲۰۱۹).

هنگامی که یک ماده خوراکی با مایع شکمبه دارای بافر در شرایط آزمایشگاهی آنکوباسیون می‌شود، کربوهیدرات‌ها به اسیدهای چرب کوتاه زنجیر و گاز به‌طور عمده (دی‌اکسیدکربن و متان) تخمیر می‌شوند (Razmazar, ۲۰۱۲). از آن جایی که محصولات علوفه‌ای براسیکا خواص مشابهی دارند، انتظار می‌رود با افزایش pH که منجر به افزایش نشخوار می‌شود، تولید گاز در شکمبه نیز در شرایط آزمایشگاهی افزایش یابد. محصولات اصلی تخمیر شکمبه اسیدهای چرب فرار هستند و در این میان، پروپیونات بستری برای گلوکونوژنز بوده و منبع اصلی گلوکز در حیوان است، در حالی که استات و بوتیرات غیرگلوکوژنیک منابعی برای سنتز اسیدهای چرب با زنجیره بلند هستند (Morvay et al, ۲۰۱۱). همچنین همبستگی مثبتی بین تولید گاز و انرژی قابل متابولیسم و همچنین بین تولید گاز و قابلیت هضم ماده آلی وجود دارد. قابلیت هضم تخمین زده شده در این پژوهش مشابه مواردی است که برای علوفه براسیکا گزارش شده است (Safaei et al, ۲۰۲۲). با این حال، در پژوهشی قابلیت هضم ماده آلی علوفه کلزا با کیفیت بالا در شرایط *in vivo* بیشتر (یعنی بالای ۸۰۰ گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (Kirkegaard et al, ۲۰۰۸). در پژوهشی دیگر گزارش شد که کلزا در مقایسه با برخی از حبوبات دیگر مانند شبدر و ماشک، هضم‌پذیری کمتری دارد (Karabulut et al, ۲۰۰۷).

به‌طور کلی، سیلاژ واریته ۶۳۷ کاریناتا، نمره سیلو و فلیت بالاتری نسبت به سایر واریته‌ها به‌خود اختصاص داد. همچنین بخش‌های بالقوه قابل تجزیه و تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک، پروتئین خام و الیاف نامحلول در شوینده خنثی در واریته ۶۳۷ دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر واریته‌های آزمایشی بود. بنابراین، با توجه به نتایج این پژوهش واریته ۶۳۷ در مرحله اواخر گل‌دهی، نسبت به سایر واریته‌های کاریناتا توصیه می‌شود.

## منابع

- Abarsaji, G., Shahi, G., & Pasandi, M. O. H. A. M. M. A. D. (۲۰۰۸). Determination of forage quality of Hedysarum coronarium at phenological different stages. *Pajouhesh and Sazandegi*, 21(۱). <https://doi.org/https://sid.ir/paper/۱۹۱۳۶/en>
- Abdelrahman, M., Wang, W., Lv, H., Di, Z., An, Z., Lijun, W., ... & Guohua, H. (۲۰۲۲). Evaluating the Effect of Forage Rape (Brassica napus) Ensiling Kinetics on Degradability and Milk Performance as Non conventional Forage for Dairy Buffalo. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, ۹۲۶۹۰۶. <https://doi.org/۱۰.۳۳۸۹/fvets.۲۰۲۲.۹۲۶۹۰۶>
- Abdulrazak, S. A., Fujihara, T., Ondiek, J. K., & Ørskov, E. R. (۲۰۰۰). Nutritive evaluation of some Acacia tree leaves from Kenya. *Animal feed science and technology*, 85(۱-۲), ۸۹-۹۸. [https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۳۷۷-۸۴۰۱\(۰۰\)۰۱۳۳-۴](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۳۷۷-۸۴۰۱(۰۰)۰۱۳۳-۴)
- AOAC. (۲۰۰۵). Association of Official Analytical Chemist, Official Methods of Analysis. Article ۱۸th Edition.
- Ban, Y., Khan, N. A., & Yu, P. (۲۰۱۷). Nutritional and metabolic characteristics of Brassica carinata co-products from biofuel processing in dairy cows. *Journal of agricultural and food chemistry*, 65(۲۹), ۵۹۹۴-۶۰۰۱. <https://doi.org/۱۰.۱۰۲۱/acs.jafc.۷b۰۲۳۳>
- Canbolat, Ö. (۲۰۱۳). Effect of maturity stage on the potential nutritive value of canola (Brassica napus L.) hays. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 60(۲), ۱۴۵-۱۵۰. <https://doi.org/۱۰.۱۵۰۱/Vetfak.۰۰۰۰.۲۵۶۸>
- Daza, J., Benavides, D., Pulido, R., Balocchi, O., Bertrand, A., & Keim, J. (۲۰۱۹). Rumen in vitro fermentation and in situ degradation kinetics of winter forage brassicas crops. *Animals*, 9(۱۱), ۹۰۴. <https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/ani۹۱۱۰۹۰۴>
- FAO. The Future of Food and Agriculture: Trends and Challenges; FAO: Rome, Italy, ۲۰۱۷; ISBN ۹۷۸۹۲۵۱۰۹۵۵۱۵.
- Getachew, G., Blümmel, M., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (۱۹۹۸). In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 72(۳-۴), ۲۶۱-۲۸۱. [https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۳۷۷-۸۴۰۱\(۹۷\)۰۰۱۸۹-۲](https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/S۰۳۷۷-۸۴۰۱(۹۷)۰۰۱۸۹-۲)
- Ghahari, N., Ghoorchi, T., Shahi, M., & Feyzbakhsh, M. T. (۲۰۱۷). Effect of different additives on dry matter degradability of mustard forage (Brassica juncea) silage at different phenological stages.

- Gonzalez Ronquillo, M., Ghavipanje, N., Sainz-Ramírez, A., Celis-Alvarez, M. D., Plata-Reyes, D. A., Robles Jimenez, L. E., & Vargas-Bello-Perez, E. (۲۰۲۳). Effects of plant extracts on in-vitro gas production kinetics and ruminal fermentation of four fibrous feeds: Towards sustainable animal diets. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 39(۳), ۳۱۹-۳۲۶. <http://dx.doi.org/10.29393/chjaa39-28epme70028>
- Karabulut, A., Canbolat, O., Kalkan, H., Gurbuzol, F., Sucu, E., & Filya, I. (۲۰۰۷). Comparison of in vitro gas production, metabolizable energy, organic matter digestibility and microbial protein production of some legume hays. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(۴), ۵۱۷-۵۲۲. <https://doi.org/10.5713/ajas.2007.0517>
- Kaur, R., Garcia, S. C., Fulkerson, W. J., & Barchia, I. M. (۲۰۱۱). Degradation kinetics of leaves, petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity. *Animal Feed Science and Technology*, 168(۳-۴), ۱۶۵-۱۷۸. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.013>
- Keogh, B., French, P., McGrath, T., Storey, T., & Mulligan, F. J. (۲۰۰۹). Comparison of the performance of dairy cows offered kale, swedes and perennial ryegrass herbage in situ and perennial ryegrass silage fed indoors in late pregnancy during winter in Ireland. *Grass and forage science*, 64(۱), ۴۹-۵۶. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2008.00667.x>
- Kilic, A. (۱۹۸۶). Silo feed (instruction, education and application proposals). *Bilgehan Pres*, 327.
- Kılıç, Ü. (۲۰۰۹). Using Canola forage as roughage source in ruminant nutrition. *Journal of Lalahan Livestock Research Institute (Turkey)*.
- Kilic, U., & Erisek, A. (۲۰۱۹). Effects of Additive Use on Silage Quality and in vitro Digestibility of Some Brassica silages. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 6(۱۱), ۱۶۳-۱۷۱.
- Kılıç, Ü., Erişek, A., Garipoğlu, A., Ayan, İ., & Önder, H. (۲۰۲۱). The effects of different forage types on feed values and digestibilities in some brassica fodder crops. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 8(۱), ۹۴-۱۰۲. <https://doi.org/10.3910/turkjans.247031>
- Kirkegaard, J. A., Sprague, S. J., Dove, H., Kelman, W. M., Marcroft, S. J., Lieschke, A., ... & Graham, J. M. (۲۰۰۸). Dual-purpose canola—a new opportunity in mixed farming systems. *Australian Journal of Agricultural Research*, 59(۴), ۲۹۱-۳۰۲. <http://dx.doi.org/10.1071/AR07280>
- Lardy, G., & Anderson, V. L. (۲۰۰۹). Alternative feeds for ruminants.
- McDonald, P., Henderson, A.R. and Heron, S.J.E. (۱۹۹۱). The Biochemistry of Silage. Chalcombe, Marlow, UK.
- Menke, K., & Steingass, H. (۱۹۸۸). Estimation of the energy feeding value from gas formation estimated in vitro with rumen fluid and from chemical analysis. ۲. Regression equations.
- Morvay, Y., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & Dijkstra, J. (۲۰۱۱). Evaluation of models to predict the stoichiometry of volatile fatty acid profiles in rumen fluid of lactating Holstein cows. *Journal of dairy science*, 94(۶), ۳۰۶۳-۳۰۸۰. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3990>
- NRC (۲۰۰۱). Nutrient requirements of dairy cattle. National Academies Press.
- Ørskov, E. R., & McDonald, I. (۱۹۷۹). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *The Journal of Agricultural Science*, 92(۲), ۴۹۹-۵۰۳. <https://doi.org/10.1017/S0021859600063484>
- Paula, E. M., da Silva, L. G., Brandao, V. L. N., Dai, X., & Faciola, A. P. (۲۰۱۹). Feeding canola, camelina, and carinata meals to ruminants. *Animals*, 9(۱۰), ۷۰۴. <https://doi.org/10.3390/ani9100704>
- Razmazar, V. (۲۰۱۲). Evaluation of chemical characteristics, rumen fermentation and digestibility of Vicia sativa, Lathyrus sativus and Vicia ervilia grain by in vitro methods. *Journal of Animal Science Research*, 22(۲), ۱۰۷-۱۱۹.
- Rugoho, I., & Edwards, G. R. (۲۰۱۸). Dry matter intake, body condition score, and grazing behavior of nonlactating, pregnant dairy cows fed kale or grass once versus twice daily during winter. *Journal of dairy science*, 101(۱), ۲۵۷-۲۶۷. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12807>
- Safaei, A. R., Rouzbehan, Y., & Aghaalkhani, M. (۲۰۲۲). Canola as a potential forage. *Translational Animal Science*, 6(۳), txac100. <https://doi.org/10.1093/tas/txac100>
- Schulmeister, T. M., Ruiz-Moreno, M., Silva, G. M., Garcia-Ascolani, M., Ciriaco, F. M., Henry, D. D., ... & Dilonzo, N. (۲۰۱۹). Evaluation of Brassica carinata meal as a protein supplement for growing beef heifers. *Journal of Animal Science*, 97(۱۰), ۴۳۴-۴۳۴۰. <https://doi.org/10.1093/jas/skz280>
- Sun, X. Z., Waghorn, G. C., Hoskin, S. O., Harrison, S. J., Muetzel, S., & Pacheco, D. (۲۰۱۲). Methane emissions from sheep fed fresh brassicas (*Brassica* spp.) compared to perennial ryegrass (*Lolium perenne*). *Animal Feed Science and Technology*, 176(۱-۴), ۱۰۷-۱۱۶. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.07.013>
- Sun, X., Henderson, G., Cox, F., Molano, G., Harrison, S. J., Luo, D., ... & Pacheco, D. (۲۰۱۵). Lambs fed fresh winter forage rape (*Brassica napus* L.) emit less methane than those fed perennial ryegrass (*Lolium perenne*

- L.), and possible mechanisms behind the difference. *PloS one*, 10(3), e0119697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0119697>
- Van Soest, P. V., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of dairy science*, 74(10), 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- Wang, J., Zhang, Z., Liu, H., Xu, J., Liu, T., Wang, C., & Zheng, C. (2022). Evaluation of gas production, fermentation parameters, and nutrient degradability in different proportions of sorghum straw and ammoniated wheat straw. *Fermentation*, 8(8), 410. <https://doi.org/10.3390/fermentation8080410>
- Westwood, C. T. (2012, January). Nutritional evaluation of five species of forage brassica. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association* (pp. 31-37). <https://doi.org/10.33584/jnzg.2012.74.2881>
- Xin, H., & Yu, P. (2014). Rumen degradation, intestinal and total digestion characteristics and metabolizable protein supply of carinata meal (a non-conventional feed resource) in comparison with canola meal. *Animal Feed Science and Technology*, 191, 106-110. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.013>
- Xin, H., Falk, K. C., & Yu, P. (2013). Studies on Brassica carinata seed. 2. Carbohydrate molecular structure in relation to carbohydrate chemical profile, energy values, and biodegradation characteristics. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61(42), 10127-10134. <https://doi.org/10.1021/jf402077g>
- Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., ... & Jalloh, A. (2016). Toward climate-smart agriculture in West Africa: a review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s40666-016-0070-3>

## Determination and Comparison of Nutritional Value, Degradability, and Gas Production Parameters of Silage from Different Varieties of Forage Brassica Carinata at the Late Flowering Stage

**Radman Bakhtiari\***

Ph.D. student in Animal Nutrition, Sari Agricultural  
Sciences and Natural Resources University

**Alireza Bayat**

Associate Professor, Department of Animal Sciences,  
Natural Resources Institute Finland

**James K Drackley**

Professor, Department of Animal Sciences, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

### Abstract

This study investigated the nutritional value, degradability, and gas production parameters of silage from five forage rape (*Brassica carinata*) varieties (۶۲۰, ۶۲۶, ۶۳۱, ۶۳۷, and ۶۳۹) harvested at the late flowering stage. The results indicated that the pH was significantly higher in variety ۶۳۹, whereas variety ۶۳۷ had the highest flight score. Variety ۶۳۹ exhibited greater dry matter (DM), crude protein (CP), and neutral detergent fiber (NDF) contents compared to the other varieties. In contrast, acid detergent fiber (ADF) and non-fiber carbohydrates (NFC) were highest in variety ۶۳۷. The rapidly degradable fraction of DM was highest in varieties ۶۲۶ and ۶۳۷, while the slowly degradable, potentially degradable, and effective degradability fractions were greater in varieties ۶۳۷ and ۶۳۹. The degradation rate constant and effective degradability of CP were highest in varieties ۶۳۱ and ۶۲۰. Additionally, the potentially degradable fraction of NDF was highest in varieties ۶۳۷ and ۶۳۱, whereas the degradation rate constant and effective degradability of NDF were greatest in varieties ۶۲۰ and ۶۳۷. Variety ۶۳۱ showed the highest organic matter digestibility and metabolizable energy. Overall, variety ۶۳۷ is recommended for the late flowering stage due to its superior degradability and nutritional properties compared to other *Brassica carinata* varieties.

**Keywords:** Brassica Carinata, Degradability, Nutritional Value, Variety