Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Ruminant Research

Print ISSN: 2345 - 4261
Online ISSN: 2345 - 4253

Investigating the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) forage and determining its digestibility in dried and ensiled form

Pirouz Shakeri[1]*, Ali Reza Aghashahi[2], Mehdi Bahrami Yekdangi[3], Amir Ali Shakeri[4]

[1, 2 and 3]Animal Nutrition and Physiology Research Department, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: Pirouz_shakeri@yahoo.co.uk

[4] Veterinary student of Islamic Azad University, Karaj Branch

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07/02/2023
Revised: 11/17/2023
Accepted: 11/18/2023

Keywords:
Degradability
Digestibility
Production performance
Silage
Quinoa

Abstract

Background and Objectives: Quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) is a dual-purpose crop for grain and forage production. Quinoa has excellent properties such as low water requirement for growth, resistance to drought, salinity and nutritional good quality, which are the reason for the great interest in Iran. The objective of this study was to investigate the performance of quinoa forage and determine its digestibility in dried and ensiled forms.

Material and methods: Three genotypes of quinoa forage (Sejama, Titicaca and Q_{12}) were used in a completely randomized design in dry in the shade and silage forms. All genotypes were sown at the same time and harvested at the time dough of seeds and then were calculated performance of quinoa forage. The harvested forages were chopped and one part was dried in the shade and the other part was ensiled during 60 days in experimental silos. The silages were appearance characteristics evaluated after opening the silos. The samples were ground to pass a 1-mm screen, and then were used for evaluation of rumen degradability and rumen disappearance of dry matter (via incubating the samples inside the bag (pores 50 micrometers) in the rumen of steers and post-ruminal disappearance of dry matter (via incubating the samples inside the bag in the DAISY^{II} incubator). The samples were incubated in the rumen using polyester bags. All variables were statistically analyzed in a completely randomized design by the Statistical Analysis Systems (SAS).

Results: The results show that, the duration of sowing to the dough stage of seeds was 60 days in Kerman condition, and wet plant yield for Sejama, Titicaca and Q_{12} genotypes were 34500, 30400 and 36610 kg/ha respectively. The appearance characteristics of silages were in an acceptable condition and were scored 16.75, 17.50 and 18.13 for Sejama, Titicaca and Q_{12} genotypes respectively in a 0 to 20 scoring system ($P<0.01$). The average of ruminal and gastro intestinal tract DM disappearance varied between 64.64 to 69.86 % and 69.64 to 75.19 % respectively ($P<0.01$). Furthermore, rapidly degradable DM fraction (a), in dried forage was lower (39.65 *vs.* 45.23%) than in ensiled forage, and slowly degradable DM fraction (b) and rate constant of degradation of the b fraction (c) in dried

forage was higher (41.46 *vs.* 36.39% and 0.079 *vs.* 0.063 per hour respectively) than ensiled forage (P<0.01).

Conclusion: In general, the results have shown that quinoa forage had an acceptable digestibility and can be used as a substitution feedstuff with low water requirement in ruminant nutrition.

Cite this article: Shakeri, P., Aghashahi, A.R., Bahrami Yekdangi, M., Shakeri, A.A. (2023). Investigating the performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) forage and determining its digestibility in dried and ensiled form. *Journal of Ruminant Research*, 12(1), 51-68.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJRR.2023.21515.1906
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پژوهش در نشخوارکنندگان
شاپا چاپی: ۴۲۶۱-۲۳۴۵
شاپا الکترونیکی: ۴۲۵۳-۲۳۴۵

بررسی عملکرد تولید علوفه کینوآ (*Chenopodium quinoa* willd.) و تعیین گوارش‌پذیری آن به‌صورت خشک و سیلاژ

پیروز شاکری[1*]، علی‌رضا آقاشاهی[2]، مهدی بهرامی یکدانگی[3]، امیرعلی شاکری[4]

[1،2و3] اعضای هیأت‌علمی بخش تحقیقات تغذیه و فیزیولوژی دام، موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،
رایانامه: Pirouz_shakeri@yahoo.co.uk

[4] دانشجوی رشته دامپزشکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۰۴/۱۱
تاریخ ویرایش:۱۴۰۲/۸/۲۶
تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۸/۲۷

واژه‌های کلیدی:
تجزیه‌پذیری
سیلاژ
کینوآ
گوارش‌پذیری
عملکرد تولید

چکیده

سابقه و هدف: کینوآ (*Chenopodium quinoa* willd.) یک گیاه زراعی دو منظوره برای تولید دانه و علوفه است. کِشت کینوآ در کشور به‌دلیل نیاز آبی پایین، مقاومت به خشکی و شوری و ارزش غذایی بالای دانه در حال گسترش است. این آزمایش باهدف بررسی عملکرد تولید علوفه در ۳ ژنوتیپ مختلف کینوآ و همچنین تعیین گوارش‌پذیری و تجزیه‌پذیری ماده خشک علوفه آن‌ها در مرحله خمیری‌شدن دانه‌ها به‌صورت علوفه خشک و سیلاژ انجام شد.

مواد و روش‌ها: سه ژنوتیپ کینوآ شامل سجاما، تیتیکاکا و Q_{12} به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ موردبررسی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌ها هم‌زمان کشت‌شده و در زمان خمیری‌شدن دانه برداشت شدند. علوفه برداشت‌شده توزین شد و عملکرد تولید علوفه در واحد سطح تعیین شد. علوفه برداشت‌شده به دو شکل علوفه سایه‌خشک و سیلاژ ۶۰ روزه آماده‌شده و سیلاژها پس از باز کردن سیلوها مورد ارزیابی ظاهری قرار گرفتند. از علوفه‌های خشک و سیلاژ نمونه‌برداری انجام شد و پس از خرد کردن با آسیاب با توری با قطر منافذ یک میلی‌متر برای تعیین فراسنجه‌های گوارش‌پذیری، تجزیه‌پذیری و میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای (از طریق انکوباسیون شکمبه‌ای نمونه‌ها در داخل کیسه) و میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای (از طریق انکوباسیون بقایای هضم شکمبه‌ای نمونه‌ها در دستگاه شبیه‌ساز هضم) ماده خشک مورداستفاده قرار گرفتند. برای انکوباسیون نمونه‌ها در شکمبه از کیسه‌های پلی‌استری با منافذ به قطر ۵۰ میکرومتر استفاده شد. داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه آماری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در هر سه ژنوتیپ کینوآ، طول دوره کِشت تا خمیری شدن دانه‌ها در شرایط اقلیمی کرمان ۶۰ روز بود و در این دوره میزان عملکرد گیاه تر برای ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و Q_{12} به‌ترتیب ۳۴۵۰۰، ۳۰۴۰۰ و ۳۶۶۱۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. در ارزیابی ظاهری سیلاژها، امتیاز کلی ۱۶/۷۵، ۱۷/۵۰ و ۱۸/۱۳ از امتیاز ۲۰ به‌ترتیب برای ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و Q_{12} تعیین شد ($P<0/01$). در ژنوتیپ‌ها و اشکال مختلف علوفه

کینوآ میزان ناپدید شدن ماده خشک در شکمبه از ۶۴/۶۴ تا ۶۹/۸۶ درصد و در کل دستگاه گوارش از ۶۹/۶۴ تا ۷۵/۱۹ درصد ماده خشک متغیر بود (P<۰/۰۱). میانگین غلظت ماده خشک با سرعت تجزیه بالا (بخش a) در علوفه‌های خشک‌شده کمتر از نوع سیلاژ (۳۹/۶۵ در مقابل ۴۵/۲۳ درصد) و میانگین غلظت ماده خشک با سرعت تجزیه کند (بخش b) و همچنین میانگین ثابت نرخ تجزیه (c) در علوفه‌های خشک‌شده بیشتر از سیلاژ علوفه‌ها (به‌ترتیب ۴۱/۴۶ در مقابل ۳۶/۳۹ درصد و ۰/۰۷۹ در مقابل ۰/۰۶۳ در ساعت) تعیین شد (P<۰/۰۱).

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که علوفه کینوآ از گوارش‌پذیری مناسبی برخوردار است و می‌تواند در تغذیه نشخوارکنندگان جایگزین مناسبی برای علوفه‌های رایج با نیاز آبی بالا باشد. هم‌چنین در بین ژنوتیپ‌های موردبررسی تیتیکاکا از نظر عملکرد علوفه، pH سیلاژ، میزان ناپدیدشدن ماده خشک در کل دستگاه گوارش و همچنین تجزیه‌پذیری ماده خشک نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر باشد.

استناد: شاکری، پ.، آقاشاهی، ع.ر.، بهرامی یکدانگی، م.، شاکری، ا.ع. (۱۴۰۳). بررسی عملکرد تولید علوفه کینوآ (*Chenopodium quinoa* willd.) و تعیین گوارش‌پذیری آن به‌صورت خشک و سیلاژ. *پژوهش در نشخوارکنندگان*، ۱۲(۱)، ۶۸-۵۱.

DOI: 10.22069/EJRR.2023.21515.1906

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

افزایش گرمایش زمین، کاهش منابع آب شیرین و افزایش سریع جمعیت، سبب کمبود مواد خوراکی و افزایش قیمت آن در جهان شده است و برای تأمین مواد خوراکی موردنیاز جمعیت کنونی کره زمین، فشار جبران‌ناپذیری بر عرصه‌های منابع‌طبیعی، خاک و منابع آبی واردشده است. از سوی دیگر برای تغذیه کافی و متعادل انسان‌ها و کاهش فشار بر منابع طبیعی، تلاش برای یافتن منابع جدید خوراکی که در شرایط آب‌وهوایی و خاک‌های نامتعارف رشد کنند و غذای با کمیت و کیفیت بیشتری برای تغذیه انسان و حیوانات فراهم کنند، در اولویت قرارگرفته است (Kaya و Aydemir، ۲۰۲۰)، از این نظر، گیاه کینوآ (*Chenopodium quinoa* willd.) که می‌تواند در مجموعه‌ای بسیار متنوع از شرایط اکولوژیکی رشد کند و دانه آن دارای ارزش غذایی بالایی می‌باشد (Bazile و همکاران، ۲۰۱۶)، موردتوجه قرارگرفته است. در سال‌های اخیر بررسی برای سازگاری ژنوتیپ‌های مختلف کینوآ در کشور ما نیز انجام‌شده و کِشت آن در حال گسترش است. این گیاه تاکنون برای تولید دانه کشت‌شده است، درحالی‌که علوفه کینوآ نیز از ارزش غذایی بالایی برخوردار است و به دلیل ظرفیت بالقوه آن برای تغذیه دام‌ها، اخیراً در برخی از نقاط جهان به‌عنوان علوفه مورد ارزیابی و استفاده قرارگرفته است (Peiretti و همکاران، ۲۰۱۳، Shakeri و همکاران، ۲۰۱۹، Salama و همکاران، ۲۰۲۱، Abarghuei و همکاران، ۲۰۲۳). کاشت این گیاه در مقایسه با غلات به آب، کود و عملیات زراعی کمتری نیاز دارد و به دلیل نیاز آبی پایین و مقاومت به تنش‌های شوری و خشکی، تنوع ژنتیکی، تطابق‌پذیری با اقلیم‌های مختلف و ارزش غذایی مطلوب (Kaya و Aydemir، ۲۰۲۰). می‌تواند به‌عنوان یک ماده خوراکی امیدبخش در شرایط کم‌آبی در کشور موردتوجه قرار گیرد.

بررسی ارزش غذایی و قابلیت هضم علوفه کینوآ در مراحل مختلف رشد در استان فارس نشان داد که علوفه این گیاه در مراحل مختلف (از ۴۵ تا ۱۴۵ روز پس از کاشت) دارای ارزش غذایی متفاوتی می‌باشد. کمترین و بیشترین غلظت پروتئین خام در نمونه‌های ۴۵ روزه ۱۹/۹۵ درصد و در نمونه ۱۴۵ روزه ۱۱/۲۰ درصد و قابلیت هضم ماده خشک آن از ۷۰/۳۵ تا ۵۹/۶۵ درصد به ترتیب در مراحل رشدی مذکور متغیر بود (Abarghuei و همکاران، ۱۴۰۲).

در کشور مصر علوفه کینوآ با افزودن ۵ درصد ملاس به مدت سه ماه سیلو شد و pH سیلاژ آن ۴/۳۶ گزارش گردید. مقدار ماده خشک، غلظت اسیدلاکتیک، اسید استیک، اسید بوتیریک و نیتروژن آمونیاکی این سیلاژ به ترتیب ۳۰/۵۶، ۳/۰۲، ۳/۰۶، ۰/۹۶ و ۱/۲۷ درصد تعیین شد و نشان داده شد که با سیلو کردن علوفه کینوآ میزان الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و سلولز به‌طور معنی‌داری نسبت به علوفه تازه کاهش یافت. سپس علوفه کینوآ به‌صورت خشک‌شده و یا سیلاژ به‌عنوان بخش علوفه‌ای جیره میش‌های شیرده استفاده گردید و نشان داده شد که مصرف ماده خشک، قابلیت هضم پروتئین خام و عصاره اتری جیره در میش‌های مصرف‌کننده سیلاژ کینوآ در مقایسه با علوفه خشک کینوآ بالاتر بود، اما قابلیت هضم ماده خشک، ماده آلی، کل مواد قابل‌هضم و پروتئین قابل‌هضم بین جیره‌ها یکسان بود (Salama و همکاران، ۲۰۲۱).

در بررسی راه‌های بهبود کیفیت سیلاژ علوفه کینوآ در کشور لهستان، علوفه در مرحله گلدهی کامل برداشت گردید و به مدت شش هفته در سیلوهای آزمایشگاهی ۱) بدون افزودنی، ۲) افزودنی باکتریایی شامل سه باکتری *Enterococcus faecium*، *Lactobacillus plantarum* و *Pediococcus acidilactici* با غلظت $۱/۲۵\times۱۰^{۱۱}$ cfu/g به میزان ۰/۱

گرم در تن) و ۳) افزودنی شیمیایی (مخلوط اسید فرمیک، اسید پروپیونیک و فومارات آمونیوم به میزان ۵ لیتر در تن) سیلو شد. میزان ماده خشک، پروتئین خام، خاکستر خام، عصاره اتری، عصاره فاقد نیتروژن، الیاف نامحلول در شوینده خنثی، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و کربوهیدرات‌های نامحلول در آب در علوفه کینوآ در مرحله گلدهی به ترتیب ۱۸/۹۱، ۱۱/۲۱، ۱۴/۷۰، ۴/۴۴، ۴۰/۳۷، ۴۶/۶۵ و ۶/۲۴ درصد تعیین شد (Podkówka و همکاران، ۲۰۱۸).

در آزمایشی قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی علوفه کینوآ با علوفه شبدر مقایسه گردید و گزارش شد که تفاوت معنی‌داری بین این دو علوفه وجود نداشت و با تغذیه این دو علوفه به بره‌های پرواری ماده خشک مصرفی بین بره‌های دو گروه یکسان بود و درنهایت استفاده از علوفه کینوآ تا سطح ۵۰ درصد در جیره بره‌های پرواری پیشنهاد شد (Abdallah، ۲۰۱۶). در پژوهش دیگری Barros-Rodríguez و همکاران (۲۰۱۸) میزان تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک در دانه، گیاه کامل و ساقه کینوآ را به ترتیب ۹۸، ۸۱ و ۵۵ درصد، تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای پروتئین خام در بخش‌های مذکور را به ترتیب ۸۳، ۷۲ و ۴۲ درصد و قابلیت هضم آزمایشگاهی ماده خشک در این بخش‌ها را نیز به ترتیب ۸۱، ۵۸ و ۳۱ درصد برآورد نمودند. این آزمایش باهدف بررسی عملکرد تولید علوفه در ۳ ژنوتیپ مختلف کینوآ (سجاما، تیتیکاکا و Q_{12}) و همچنین تعیین گوارش‌پذیری و تجزیه‌پذیری ماده خشک علوفه آن‌ها در مرحله خمیری شدن دانه‌ها به‌صورت علوفه خشک و سیلاژ طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

کاشت و عملیات زراعی کینوآ: سه ژنوتیپ کینوآ شامل سجاما، تیتیکاکا و Q_{12} در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی شهید زنده‌روح در ۲۰ کیلومتری غرب شهر کرمان، با متوسط بارندگی ۱۴۰ میلی‌متر در سال و آب‌وهوای خشک و نیمه معتدل در قطعه زمینی به مساحت حدود ۰/۶ هکتار کِشت گردید. هر سه ژنوتیپ به تفکیک در تاریخ ۲۲ مرداد کِشت شدند و برداشت گیاه کامل کینوآ در تاریخ ۲۲ مهر (۶۰ روز پس از کاشت) در زمانی که دانه‌ها خمیری بودند، از پنج سانتی‌متری بالای یقه و از دو خط وسط هر کرت، به‌صورت دستی و با داس انجام شد و علوفه برداشت‌شده توزین گردید. گیاهان برداشت‌شده به تفکیک ژنوتیپ به‌طور کامل با استفاده از یک علوفهٔ خردکن با اندازه قطعات بین دو تا پنج سانتی‌متر خرد شدند و پس از اختلاط کامل، یک نمونه به وزن حدود ۱۰ کیلوگرم برای خشک‌کردن در سایه جداشده و از باقی‌مانده برای تهیه سیلاژ علوفه کینوآ (چهار تکرار از هر ژنوتیپ) استفاده شد. سیلوهای آزمایشگاهی از جنس لوله‌های پی‌وی‌سی (با قطر ۱۱۰ میلی‌متر، طول ۵۰ سانتی‌متر و با ظرفیت حدود سه لیتر) بودند که در قسمت پایین مجهز به یک شیر خروج پساب بودند. پس از پر کردن سیلوها، محتویات سیلوها با استفاده از یک دستگاه پرس دستی به خوبی فشرده و درِ آن‌ها بسته شد. پس از ۶۰ روز درِ تمامی سیلوهای آزمایشگاهی باز شد و نمونه‌ای حدود یک کیلوگرم جهت انجام آزمایش‌ها برداشت و در سایه‌خشک گردید. نمونه‌های هر سه ژنوتیپ کینوآ که به‌صورت علوفه تازه خشک‌شده در سایه و همچنین سیلاژ ۶۰ روزه که پس از باز کردن سیلو در سایه‌خشک شده بودند، با آسیاب آزمایشگاهی مجهز به توری با منافذ به قطر یک میلی‌متر آسیاب شدند.

ارزیابی ظاهری و فیزیکی سیلاژ: پس از بازگشایی سیلوهای آزمایشگاهی، شاخص‌های ظاهری سیلاژ شامل استحکام بافت، بوی مطلوب اسیدی، رنگ و هم‌چنین کپک‌زدگی سیلاژ مورد ارزیابی قرار گرفت. در این روش از یک مقیاس صفر تا ۲۰ نمره‌ای شامل

۵ نمره برای استحکام بافت، ۵ نمره برای بوی مطلوب اسیدی، ۵ نمره برای رنگ و ۵ نمره برای کپک‌زدگی سیلاژ استفاده شد. در ارزیابی نهایی سیلاژهای موردبررسی، سیلاژ با نمره ۲۰-۱۸ سیلاژ بسیار خوب، ۱۷-۱۴ سیلاژ خوب، ۱۳-۱۰ سیلاژ قابل‌قبول، ۹-۵ سیلاژ غیرقابل‌قبول و۴-۰ سیلاژ غیرقابل‌مصرف در نظر گرفته می‌شود (Kilic، ۱۹۸۶).

آزمایش‌های تعیین گوارش‌پذیری

حیوانات آزمایشی: برای تعیین گوارش‌پذیری شامل تعیین میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای ماده خشک و همچنین تعیین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری نمونه‌های علوفه کینوآ از سه رأس گاو نر اخته‌شده نژاد تالشی (با میانگین وزن ۱۰±۲۹۷ کیلوگرم) مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد. گاوها روزانه با حدود ۹ کیلوگرم خوراک مخلوط حاوی ۶۶/۷ درصد علوفه و ۳۳/۳ درصد مواد متراکم به‌شرح جدول شماره ۱ و دسترسی آزاد به آب آشامیدنی تغذیه شدند. خوراک روزانه در دو نوبت در ساعات ۰۸:۰۰ و ۱۵:۰۰ در اختیار گاوها قرار گرفت.

جدول ۱- اجزای جیره گاوهای آزمایش (برحسب ماده خشک)

Table 1- Ingredients of steer diets (DM basis)

ماده خوراکی	Feed	مقدار (درصد) Amount (%)
کاه گندم	Wheat straw	16.67
یونجه	Alfalfa	50.00
دانه جو	Barley grain	23.33
دانه ذرت	Corn grain	5.00
سبوس گندم	Wheat bran	3.34
کنجاله پنبه‌دانه	Cotton seed meal	1.33
مکمل معدنی- ویتامینی	Mineral–vitamin premix	0.33
ترکیب شیمیایی	Chemical composition	
انرژی قابل متابولیسم (کیلوکالری/گرم)	Metabolisable energy (kcal/g)	2.2
پروتئین خام (٪)	Crude protein (%)	12.0
الیاف نامحلول در شوینده خنثی (٪)	Neutral detergent fiber (%)	35.1

تجزیه‌پذیری ماده خشک: برای تعیین روند تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک در واحد زمان در نمونه‌های آزمایشی (۳ ژنوتیپ کینوآ × ۲ فرم علوفه (خشک و سیلاژ) × ۸ زمان انکوباسیون × ۳ تکرار= ۱۴۴ نمونه)، نمونه‌ها در داخل کیسه‌های مخصوص با ابعاد ۱۰× ۵ سانتی‌متر با منافذ ۵۰ میکرومتر و از جنس پلی‌استر در شکمبه گاوها انکوباسیون شدند. به این منظور حدود دو گرم از هر نمونه با سه تکرار در داخل کیسه‌ها ریخته شد و هر یک از تکرارها در شکمبه یکی از گاوهای آزمایشی برای زمان‌های مختلف انکوباسیون (صفر، ۲، ۴، ۸، ۱۶، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) قرار داده شد. کیسه‌ها پس از زمان‌های مذکور از شکمبه خارج شدند و در سطل آب سرد قرار گرفتند. پس از انتقال کیسه‌ها به آزمایشگاه سه مرتبه و هر بار به مدت پنج دقیقه در ماشین لباسشویی شستشو و آب‌کشی شدند. محتویات کیسه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد و سپس توزین گردید. مقدار باقی‌مانده نمونه در کیسه‌ها برای تعیین روند تجزیه‌پذیری ماده خشک تعیین شد (Ørskov و همکاران، ۱۹۸۰).

$$\text{تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک} = \frac{\text{(وزن نمونه قبل از انکوباسیون شکمبه‌ای)} - \text{(وزن نمونه بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای)}}{\text{وزن نمونه قبل از انکوباسیون شکمبه‌ای}}$$

پس از تعیین میزان تجزیه‌پذیری نمونه‌ها در زمان‌های مختلف انکوباسیون، برای تخمین فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک هر یک از تیمارهای آزمایشی از رابطه $P=a+b(1-e^{-ct})$ استفاده شد (Ørskov و McDonald، ۱۹۷۹) و برای تعیین فراسنجه‌های مذکور از نرم‌افزار *Fitcurve* استفاده شد.

که در این معادله:

P= مقدار ناپدیدشدن در زمان t، a= بخش با تجزیه سریع (درصد)، b= بخش با تجزیه کند (درصد)، c= ثابت نرخ تجزیه (در ساعت) و t= مدت‌زمان انکوباسیون در شکمبه (ساعت) می‌باشد.

همچنین تجزیه‌پذیری مؤثر نمونه‌ها نیز با استفاده از معادله $ED = a + [(b \times c)/(c + k)]$ و با در نظر گرفتن نرخ عبور ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ در ساعت محاسبه شد. اجزای این معادله عبارت‌اند از:

ED= تجزیه‌پذیری مؤثر، a= بخش با تجزیه سریع، b= بخش با تجزیه کند، c= ثابت نرخ تجزیه و k= نرخ عبور.

تعیین میزان *ناپدیدشدن* شکمبه‌ای ماده خشک علوفه کینوآ: برای تعیین میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای نمونه‌های علوفه کینوآ، نمونه‌ای از آن‌ها در داخل شکمبه گاوها انکوباسیون گردید. حدود دو گرم از هرکدام از نمونه‌ها با سه تکرار در داخل کیسه‌های با ابعاد ۱۰× ۵ سانتی‌متر، با منافذ ۵۰ میکرومتر و از جنس پلی‌استر ریخته شد و به مدت ۱۶ ساعت در شکمبه گاوها انکوباسیون گردید. کیسه‌ها پس از خروج از شکمبه، سریعاً در سطل آب سرد قرارگرفته و پس از انتقال به آزمایشگاه سه مرتبه و هر بار به مدت پنج دقیقه در ماشین لباسشویی شستشو و آب‌کشی شد. محتویات کیسه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و سپس توزین گردید (Danesh Mesgaran و Stern، ۲۰۰۵). سپس از کیسه‌ها برای تعیین میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای ماده خشک در دستگاه شبیه‌ساز هضم Daisy^{II} استفاده شد.

$$\text{میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای ماده خشک} = \frac{\text{(وزن نمونه قبل از انکوباسیون شکمبه‌ای)} - \text{(وزن نمونه بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای)}}{\text{وزن نمونه قبل از انکوباسیون شکمبه‌ای}}$$

تعیین میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای ماده خشک علوفه کینوآ (با دستگاه شبیه‌ساز هضم): برای تعیین میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای نمونه‌ها (تعداد سه کیسه انکوباسیون شده در شکمبه به‌مدت ۱۶ ساعت)، به‌مدت ۳۰ دقیقه در محلول ۰/۱ درصد متیل‌سلولز با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری شیکردار انکوباسیون گردید. کیسه‌ها به همراه محتویات حدود ۵ ساعت در هوای آزاد قرار گرفتند و پس از آن به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد کاملاً خشک شد. سپس کیسه‌های حاوی نمونه در دو مرحله به‌شرح ذیل در دستگاه شبیه‌ساز هضم Daisy^{II} (مدل آنکوم، شرکت گلپونه صفاهان) انکوباسیون گردید.

در مرحله اول هضم، داخل بطری دستگاه شبیه‌ساز هضم دو لیتر محلول ۰/۱ نرمال اسیدکلریدریک با pH ۱/۹ به همراه دو گرم پپسین ریخته شد. سپس کیسه‌های حاوی بقایای هضم شکمبه‌ای به‌مدت یک ساعت در داخل بطری‌ها با دور ثابت چرخش و در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس محتویات بطری‌ها تخلیه و کیسه‌ها تا زمان خروج آب شفاف از آن‌ها شستشو شد.

در مرحله دوم هضم، برای تهیه محلول بافر مقدار ۱۳۶/۱ گرم پتاسیم دی هیدروژن فسفات (KH_2PO_4)، ۰/۱ گرم تیمول و ۶ گرم پانکراتین با آب مقطر به حجم دو لیتر رسید و پس از اختلاط کامل، pH آن ۷/۷۵ تنظیم شد. کیسه‌های حاوی نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت دیگر با دور ثابت چرخش و در دمای ۳۹ درجه سانتی‌گراد در بطری‌ها حاوی این محلول نیز انکوباسیون شدند. پس‌ازاین مرحله، کیسه‌ها از بطری‌ها خارج شد و تا خروج آب شفاف از آن‌ها شستشو شدند. کیسه‌ها و محتویات آن‌ها در آون با دمای ۵۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک شد و به‌منظور تعیین قابلیت هضم ماده خشک، وزن باقی‌مانده درون کیسه تعیین شد (Adesogan، ۲۰۰۵) و با استفاده از روابط زیر قابلیت هضم قابلیت هضم ماده خشک پس از شکمبه و در کل دستگاه گوارش تعیین گردید.

$$\text{میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای ماده خشک} = \frac{\text{وزن نمونه بعد از انکوباسیون در دستگاه شبیه‌ساز هضم} - \text{وزن نمونه بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای}}{\text{وزن نمونه بعد از انکوباسیون شکمبه‌ای}}$$

$$\text{میزان ناپدید شدن ماده خشک در کل دستگاه گوارش} = \text{میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک} + [(1 - \text{میزان ناپدید شدن شکمبه‌ای ماده خشک}) \times (\text{میزان ناپدید شدن پس از شکمبه‌ای ماده خشک هضم نشده در شکمبه})]$$

تجزیه آماری داده‌ها

داده‌های در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی با ۶ تیمار شامل سه ژنوتیپ سجاما، تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$ که به‌صورت علوفه تازه‌ی سایه‌خشک و سیلاژ ۶۰ روزه با سه تکرار تجزیه آماری گردید. با توجه به این‌که برای هر یک از سه تکرار از یکی از سه رأس گاو مجهز به فیستولای شکمبه‌ای استفاده شد، از اثر تصادفی حیوان در مدل آماری (رابطه ۲) استفاده گردید.

رابطه (۲) $$Y_{ijk} = \mu + t_i + D_k + \varepsilon_{ijk}$$

در این رابطه $Yijk$ = مقدار هر مشاهده، μ = میانگین کل، t_i = اثر تیمار (ژنوتیپ و فرم علوفه) و D_k= اثر تصادفی حیوان و ε_{ijk} = خطای آزمایشی بودند. تجزیه آماری اطلاعات با نرم‌افزار آماری (SAS, ۲۰۰۳) نسخه ۹/۱ و با استفاده از رویه GLM انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن در سطح آماری ۹۵ درصد استفاده شد و از طریق مقایسات گروهی اختلاف بین نمونه‌های علوفه تازه‌ی خشک‌شده با سیلاژ علوفه تعیین شد.

نتایج و بحث

عملکرد علوفه کینوآ: دوره رشد (کاشت تا برداشت) هر سه ژنوتیپ در شرایط اقلیمی کرمان ۶۰ روز بود و در این دوره میزان عملکرد گیاه در مرحله خمیری‌شدن دانه‌ها برای ژنوتیپ‌های مختلف در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

بررسی عملکرد علوفه کینوآ در استان گلستان برای ژنوتیپ‌های سانتاماریا و سجاما ایرانشهر به‌ترتیب ۲۰/۹۸ و ۱۹/۴۶ تن در هکتار برحسب علوفه‌تر گزارش‌شده است (Saberi و Kiani، ۲۰۲۳). علاوه بر این در بررسی تأثیر سطوح مختلف کود ورمی کمپوست و دور آبیاری بر عملکرد کینوآ در کردستان گزارش‌شده است که بیشترین عملکرد علوفه (۵۴۱۵ کیلوگرم ماده خشک در هکتار) با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با بالاترین سطح ورمی‌کمپوست (۱۵ تن در هکتار) حاصل‌شده است (Sheikhi و Sanandaji و همکاران، ۲۰۲۳) که در هر دو آزمایش پایین‌تر از میزان عملکرد ژنوتیپ‌های موردبررسی در کرمان بوده است.

جدول ۲- میانگین عملکرد علوفه و ارتفاع بوته گیاه کینوآ

Table 2- Means of forage yield and plant height of quinoa plant

ماده خشک (درصد) Dry matter (%)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر) plant height (cm)	عملکرد علوفه تر (کیلوگرم/هکتار) Forage yield (kg/h)	Quinoa genotype	ژنوتیپ کینوآ
21.16	119	34500	Sejama	سجاما
24.34	112	30400	Titicaca	تیتیکاکا
23.22	123	36610	Q_{12}	$Q_{۱۲}$

نتایج عملکرد کینوآ در سایر کشورها نیز نشان می‌دهد که عملکرد علوفه تر کینوآ در بخش غربی ترکیه طی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۳۸۸۶۸ کیلوگرم در هکتار با ارتفاع بوته ۸۲/۳ سانتی‌متر و ۶۵۲۷۱ کیلوگرم در هکتار با ارتفاع بوته ۹۱/۷ سانتی‌متر بوده است (Erdoğan و Koca، ۲۰۲۰). در جنوب یونان عملکرد علوفه تر کینوآ ۴۵۲۵۰ کیلوگرم در هکتار (با ارتفاع بوته ۱۶۵ سانتی‌متر) گزارش شده است و زمانی که از کود گاوی به میزان ۲ تن در هکتار استفاده شد، عملکرد علوفه تر به ۷۷۵۰۰ کیلوگرم در هکتار (با ارتفاع ۱۷۷ سانتی‌متر) افزایش یافت (Papastylianou و همکاران، ۲۰۱۴). عملکرد پایین‌تر علوفه در سه ژنوتیپ کینوآی مورد بررسی در آزمایش اخیر در مقایسه با عملکرد آزمایشات در سایر

کشورها با اقالیم مختلف می‌تواند به شرایط و عوامل اقلیمی، فصل کاشت و برداشت، کیفیت آب و خاک، تیمارهای زراعی، زمان برداشت و همچنین تفاوت عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف کینوآ مربوط باشد (Papastylianou و همکاران، ۲۰۱۴؛ Erdoğan و Koca، ۲۰۲۰).

ارزیابی ظاهری سیلاژ کینوآ: نتایج ارزیابی ظاهری سیلاژهای ۶۰ روزه علوفه ژنوتیپ‌های مختلف کینوآ شامل استحکام بافت سیلاژ، بوی مطلوب اسیدی، رنگ و میزان کپک‌زدگی و هم‌چنین pH و میزان تولید پس‌آب در جدول ۳ نشان داده‌شده است. از بین خصوصیات مورد ارزیابی در سیلاژها استحکام بافت، بوی مطلوب اسیدی و رنگ در همه سیلاژها از کیفیت قابل قبولی برخوردار بود؛ اما در ژنوتیپ سجاما، پس از بازکردن درِ سیلو یک لایه به عمق حدود پنج سانتی‌متر کپک‌زدگی داشت (P<۰/۰۱) و سبب کاهش امتیاز کلی ارزیابی خصوصیات ظاهری سیلاژ این ژنوتیپ گردید. به‌طوری‌که امتیاز کلی ارزیابی در ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$ به‌ترتیب ۱۶/۷۵، ۱۷/۵۰ و ۱۸/۱۳ تعیین شد و ژنوتیپ سجاما با سایر ژنوتیپ‌ها تفاوت معنی‌داری نشان داد (P<۰/۰۱). بر اساس این روش، سیلاژ ژنوتیپ $Q_{۱۲}$ در گروه سیلاژهای بسیار خوب و سیلاژ ژنوتیپ‌های سجاما و تیتیکاکا در گروه سیلاژهای خوب قرار گرفت. از ویژگی‌های یک سیلاژ با تخمیر خوب، pH پایین و در محدوده ۳/۷۹ تا ۴/۳۳ می‌باشد که در نتیجه تولید اسیدلاکتیک و یا مقدار زیاد اسیدهای چرب زنجیر کوتاه تولیدی در سیلاژ است (McDonald و همکاران، ۱۹۹۱).

جدول ۳- برخی از خصوصیات سیلاژ ۶۰ روزه علوفه کینوآ

Table 3- Some of characteristics 60-day silage of quinoa forages

Seeping (%) پس‌آب (درصد)	pH	Appearance characteristics (Score 5) خصوصیات ظاهری (نمره ۵)					Quinoa genotype	ژنوتیپ کینوآ
		Total score امتیاز کل	Mold کپک‌زدگی	Natural color رنگ طبیعی	Acidic pleasant smell بوی مطلوب اسیدی	Plant tissue strength استحکام بافت گیاهی		
7.67^{a}	5.44^{a}	16.75^{b}	3.50^{b}	4.25	4.50	4.44	Sejama	سجاما
5.32^{b}	3.95^{c}	17.50^{ab}	4.50^{a}	4.25	4.25	4.44	Titicaca	تیتیکاکا
7.69^{a}	4.36^{b}	18.13^{a}	4.75^{a}	4.38	4.50	4.44	Q_{12}	$Q_{۱۲}$
0.132	0.120	0.370	0.220	0.137	0.083	0.353	SEM	انحراف استاندارد میانگین‌ها
0.009	0.0001	0.05	0.007	0.77	0.63	0.99	P-value	سطح معنی‌داری

- میانگین‌ها با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

- Means within a column with different subscripts differ (P < 0.05).

در اندازه‌گیری pH سیلاژ علوفه کینوآی ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$ به‌ترتیب مقادیر ۵/۴۴، ۳/۹۵ و ۴/۳۶ تعیین شد و نشان می‌دهد که سیلاژ کینوآی ژنوتیپ سجاما از نظر pH وضعیت مطلوبی نداشته و کپک زدن سیلاژهای این ژنوتیپ در زیر درِ سیلوی آزمایشگاهی نیز مؤید این نقیصه می‌باشد. از سوی دیگر گزارش شده است که زمانی که مقدار هگزوزها در علوفه سیلوشده محدود باشد بعضی از باکتری‌های تولیدکننده اسید لاکتیک در شرایط بی‌هوازی با مصرف اسید لاکتیک به‌عنوان منبع انرژی برای تولید اسیداستیک استفاده می‌نمایند که نتایج آن افزایش pH و به دنبال آن افزایش رشد میکروارگانیسم‌های غیرمفید همچون کلستریدیوم‌ها و انتروباکترها می‌باشد (Muller و همکاران، ۱۹۹۱) و رشد محدود کپک‌ها در سیلاژ ژنوتیپ سجاما نیز می‌تواند ناشی از این اتفاق باشد. در سایر آزمایش‌ها

نیز pH سیلاژ ۶ هفته‌ای کینوآ بدون افزودنی ۴/۱۳ (Podkówka و همکاران، ۲۰۱۸) و سیلاژ سه ماهه ۴/۳۶ (Salama و همکاران، ۲۰۲۱) تعیین شده است که با نتایج آزمایش اخیر در مورد ژنوتیپ‌های تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$ مطابقت دارند.

در فرآیند سیلاژسازی یک علوفه، کربوهیدرات‌های محلول در آب به اسیدهای آلی تبدیل می‌شوند و باکتری‌های تولیدکننده اسید لاکتیک توانایی هیدرولیز نشاسته و سایر مواد را به‌طور مؤثری در طی فرآیند تخمیر سیلو ندارند (Mc Donald و همکاران، ۱۹۹۱). از این‌رو گزارش شده است که حداقل کربوهیدرات محلول در آب مورد نیاز در یک علوفه برای کاهش pH در سیلاژ آن حدود ۱۰ درصد بر حسب ماده خشک می‌باشد (McDonald و همکاران، ۱۹۹۱) اما محتوای کربوهیدرات محلول در آب در علوفه کینوآ در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در دامنه ۶/۲۴–۴/۶۱ درصد بود. علاوه بر این ظرفیت بافری بالا در علوفه کینوآ که احتمالاً به‌دلیل میزان و نوع پروتئین‌های آن و همچنین یون‌های غیرآلی آن می‌باشد (Buxton و همکاران، ۲۰۰۳)، از عوامل دیگر دخیل در عدم کاهش مطلوب pH در سیلاژ علوفه کینوآی خصوصاً ژنوتیپ سجاما می‌باشد. در این خصوص، مطالعه بر روی سیلاژ یونجه نشان داده است که فقط مقدار ۶۳ درصد از اسید لاکتیک تولید شده مربوط به تخمیر کربوهیدرات محلول در آب است و احتمالاً سایر سوبستراهای موجود در یونجه مانند اسیدهای آلی (اسید مالیک، سیتریک و مالونیک) و قندهای آزادشده که از هیدرولیز نشاسته و همی‌سلولز حاصل شده‌اند، توسط میکروارگانیسم‌ها برای تخمیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Wilson، ۱۹۸۵) و کاهش غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی در علوفه تازه نسبت به سیلاژ آن در ژنوتیپ تیتیکاکا (از ۳۶/۹۸ به ۲۹/۹۳ درصد) و در ژنوتیپ $Q_{۱۲}$ (از ۳۷/۲۱ به ۲۹/۵۴ درصد) نشان‌دهنده این موضوع است که با وجود پایین بودن کربوهیدرات‌های محلول در آب در علوفه کینوآی ژنوتیپ‌های مورد بررسی، احتمالاً در اثر هیدرولیز همی‌سلولز علوفه کینوآی ژنوتیپ‌های تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$، سوبسترای کافی برای استفاده میکروارگانسیم‌های مولد اسیدلاکتیک فراهم شده است و به این ترتیب pH مناسبی برای حفظ این سیلاژها فراهم شده است.

پس‌آب تولیدی در سیلاژ ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و Q۱۲ به‌ترتیب ۷/۶۷، ۵/۳۲ و ۷/۶۹ درصد تعیین شد ($P<۰/۰۱$) در حالی‌که میزان رطوبت علوفه این سیلاژها به‌ترتیب ۷۸/۸۴، ۷۵/۶۶ و ۷۶/۷۸ درصد بود ($P<۰/۰۱$). یکی از نکات منفی در تهیه سیلاژ از علوفه، تولید پس‌آب است که باعث اتلاف مواد مغذی و آلودگی محیط زیست می‌شود (McDonald و همکاران، ۱۹۹۱). در بیشتر سیلوها خروج پس‌آب صورت می‌گیرد که حاوی مواد مغذی محلول می‌باشد. رطوبت علوفه سیلوشده مهم‌ترین عامل در میزان پس‌آب خروجی از سیلو می‌باشد. مایع جریان یافته از سیلو حاوی قندها، ترکیبات نیتروژته محلول، مواد معدنی و اسیدهای حاصل از تخمیر است که از ارزش غذایی مناسبی برخوردار می‌باشند. اتلاف ماده خشک به‌صورت پس‌آب، معمولاً در علوفه‌های با ۱۵۰ گرم در کیلوگرم ماده خشک تا ۱۰ درصد نیز می‌رسد (Khorvash و همکاران، ۲۰۰۵).

برخی از ویژگی‌های علوفه مانند اندازه سلول، ضخامت دیواره سلولی و نسبت برگ به ساقه از عوامل اصلی در میزان تولید پس‌آب محسوب می‌شوند (McDonald و همکاران، ۱۹۹۱)، هم‌چنین مقدار فشار وارده بر مواد سیلویی نیز می‌تواند بر میزان تولید پس‌آب تأثیر گذارد، به‌طوری که افزایش فشار از ۱۷۰۰ به ۶۸۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب سیلاژ ذرت تازه، میزان پس‌آب را از ۲۶/۹ به ۲۰۲/۱ گرم در

کیلوگرم افزایش داد (Hameleers و همکاران، ۱۹۹۹). در رابطه با خصوصیات سلولی و ضخامت دیواره سلولی علوفه کینوآ اطلاعاتی یافت نگردید و اظهار نظر در این باره به مطالعات بیشتر نیاز دارد.

میزان ناپدید شدن ماده خشک علوفه کینوآ از شکمبه، پس از شکمبه و کل دستگاه گوارش: میانگین میزان ناپدیدشدن ماده خشک در علوفه کینوآی ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و Q_{12} به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ در شکمبه، پس از شکمبه و در کل دستگاه گوارش در جدول ۴ نشان داده شده است. در ژنوتیپ‌ها و شکل‌های مختلف علوفه کینوآ میزان ناپدید شدن ماده خشک در شکمبه از ۶۴/۶۴ تا ۶۹/۸۶ درصد و میزان ناپدید شدن ماده خشک در کل دستگاه گوارش از ۶۹/۶۴ تا ۷۵/۱۹ درصد ماده خشک متغیر بود (P<۰/۰۱) و کمترین میزان ناپدیدشدن ماده خشک در شکمبه و کل دستگاه گوارش در سیلاژ علوفه ژنوتیپ سجاما مشاهده شد.

Ashera و همکاران (۲۰۲۰) با ارزیابی علوفه دو رقم کینوآ در شرایط برون‌تنی قابلیت هضم ماده خشک را ۶۹/۳ و ۶۶/۷ درصد در سال اول اجرای آزمایش و همان ارقام را به ترتیب ۷۵/۸ و ۷۱/۹ درصد در سال بعد و قابلیت هضم الیاف نامحلول در شوینده خنثی را ۴۱/۴ و ۳۷/۹ درصد در سال اول اجرای آزمایش و ۳۸/۲ و ۳۹/۱ درصد در سال دوم آزمایش برآورد کردند که با نتایج آزمایش اخیر مطابقت دارد. همچنین تعیین گوارش‌پذیری مواد مغذی جیره‌های بر پایه علوفه خشک کینوآ و یا سیلاژ کینوا در میش‌های شیری که علاوه بر علوفه کینوآ، روزانه ۵۰۰ گرم جو نیز دریافت می‌کردند، قابلیت هضم ماده خشک به‌ترتیب ۶۲/۰۸ و ۶۲/۰۷ درصد، قابلیت هضم ماده آلی به ترتیب ۶۳/۲۲ و ۶۳/۴۰ درصد، قابلیت هضم پروتئین خام به ترتیب ۵۹/۴۸ و ۶۰/۸۹ درصد و قابلیت هضم کل مواد قابل‌هضم به ترتیب ۶۰/۳ و ۶۰/۴۹ برای علوفه خشک و سیلاژ کینوا تعیین شد (Salama و همکاران، ۲۰۲۱).

همچنین میزان گوارش‌پذیری برخی از گیاهان شورزیست خانواده کنوپودیاسه که به‌عنوان علوفه در تغذیه دام مورداستفاده قرار می‌گیرند بین ۶۰ تا ۷۴ درصد گزارش‌شده است (Razzaghi و همکاران، ۱۳۹۴). نتایج میزان ناپدیدشدن ماده خشک ژنوتیپ‌های مختلف کینوآ در آزمایش اخیر در دامنه گزارش‌شده برای گیاهان این خانواده نیز قرار دارد. پایین‌تر بودن میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای ماده خشک در علوفه‌های سیلوشده کینوآ در مقایسه با نوع خشک آن می‌تواند به دلیل کمتر بودن پروتئین‌های حقیقی موجود در علوفه‌های سیلوشده کینوآ در مقایسه با نوع خشک آن باشد؛ زیرا در حین فرآیند تخمیر، پروتئین‌های علوفه در اثر پروتئولیز تجزیه می‌شوند. گزارش‌شده است که در علوفه تازه ۷۵ تا ۹۰ درصد از کل نیتروژن در ساختار پروتئین‌ها و بقیه آن در پپتیدها، اسیدهای آمینه آزاد، آمیدها، پورین‌ها، نوکلئوتیدها، کلروفیل و نیترات‌ها قرار دارد و در اثر پروتئولیزی که در سیلاژ اتفاق می‌افتد، پروتئین‌های حقیقی علوفه به محصولات نهایی پروتئولیز (اسیدهای‌آمینه، پپتیدها، آمونیاک و آمین‌ها) تبدیل می‌شوند، به‌طوری‌که در سیلاژهای خوب هم ممکن است نیتروژن پروتئینی به ۵۰ تا ۶۰ درصد کاهش یابد (McDonald و همکاران، ۱۹۹۱)؛ بنابراین پروتئینی که در علوفه سیلوشده به محصولات پروتئولیز تبدیل‌شده است در شکمبه شرایط خارج شدن از کیسه‌ها را پیدا نموده‌اند و جزبخشی از ماده خشک ناپدیدشده در شکمبه محاسبه می‌شوند. در حالی‌که پروتئین‌های حقیقی موجود در علوفه خشک پس از شکمبه تحت تأثیر آنزیم‌های پپسین و پانکراتین، هضم و از کیسه‌ها خارج می‌شوند و مقادیر بالاتری از میزان ناپدیدشدن پس از شکمبه‌ای در علوفه‌های خشک‌شده کینوآ مشاهده می‌گردد.

جدول ۴- میزان ناپدید شدن ماده خشک نمونه‌های علوفه کینوآ به‌صورت خشک و سیلوشده در شکمبه، پس از شکمبه و کل دستگاه گوارش

Table 4 - The amount of dry matter disappearance of dried and ensiled quinoa forages in the rumen, post-rumen and total gastrointestinal tract

میزان ناپدیدشدن ماده خشک از (درصد) The amount of dry matter disappearance from (%)			تیمارهای آزمایش Treatments		
کل دستگاه گوارش Gastrointestinal tract	پس از شکمبه Post-Rumen	شکمبه Rumen			
75.19[a]	17.68[a]	69.86[a]	Sejama	سجاما	علوفه تازه
71.85b[c]	13.22[d]	67.56[a]	Titicaca	تیتیکاکا	خشک‌شده
72.91[b]	15.91[b]	67.81[b]	Q_{12}	$Q_{۱۲}$	Freshly dried forage
69.64[d]	14.06[c]	64.64[c]	Sejama	سجاما	
70.89[cd]	9.39[e]	67.89[b]	Titicaca	تیتیکاکا	سیلاژ ۶۰ روزه 60 days silage
72.03[bc]	9.58[e]	49.43[ab]	Q_{12}	$Q_{۱۲}$	
0.433	0.205	0.628	SEM		انحراف استاندارد میانگین‌ها
0.0001	0.0001	0.0003	P-value		سطح معنی‌داری
P- value in group comparisons between					سطح معنی‌داری مقایسات گروهی بین
0.0001	0.0001	0.05	Dry forages and silages		علوفه‌های خشک و سیلاژ
0.0001	0.0001	0.0001	Dry forage and sejama silage		علوفه خشک و سیلاژ سجام
0.14	0.0001	0.72	Dry forage and titicaca silage		علوفه‌خشک و سیلاژ تیتیکاکا
0.17	0.0001	0.08	Dry forage and silage Q_{12}		علوفه خشک و سیلاژ$Q_{۱۲}$

- میانگین‌ها با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<۰/۰۵).

- Means within a column with different subscripts differ (P < 0.05).

بررسی ترکیب شیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف کینوآ، تنوع گسترده‌ای را بین آن‌ها نشان داده است (Abarghuei و همکاران، ۲۰۲۳؛ Ashera و همکاران، ۲۰۲۰). از سوی دیگر شواهد زیادی از کاهش قابلیت هضم علوفه‌ها در شکمبه با افزایش غلظت بخش‌های دیواره سلولی وجود دارد (Shakeri و Fazaeli، ۲۰۰۴؛ Van Soest، ۱۹۹۴). در این راستا Kamalak و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که قابلیت هضم شکمبه‌ای ماده خشک ارتباط منفی با میزان دیواره سلولی علوفه‌ها دارد. مقایسه غلظت الیاف نامحلول در شوینده خنثی در سیلاژ کینوآی ژنوتیپ سجاما (۳۵/۳۳ درصد) در مقایسه با ژنوتیپ تیتیکاکا (۲۹/۹۳ درصد) و ژنوتیپ Q۱۲ (۲۹/۵۴ درصد) می‌تواند میزان کمتر ناپدیدشدن ماده خشک سیلاژ کینوآی ژنوتیپ سجاما در مقایسه با ژنوتیپ‌های دیگر در شکمبه و در کل دستگاه گوارش را توجیه نماید. در تأیید نتایج آزمایش اخیر، قابلیت هضم ماده خشک علوفه ۶ ژنوتیپ مختلف کینوآ در ۶۵/۱۴ تا ۶۷/۱۷ درصد تعیین‌شده است (Kaya و Aydemir، ۲۰۲۰) که با نتایج آزمایش اخیر مطابقت دارد.

تجزیه‌پذیری ماده خشک علوفه کینوآ: فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک در علوفه سه ژنوتیپ کینوآ به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ در شکمبه در جدول ۵ نشان داده‌شده است. غلظت ماده خشک با سرعت تجزیه بالا (بخش a) در علوفه خشک‌شده کینوآ کمتر از نوع سیلاژ بود (P<۰/۰۱)، اما غلظت ماده خشک با سرعت تجزیه کند (بخش b) و همچنین ثابت نرخ تجزیه (c) در علوفه خشک‌شده کینوآ بیشتر از علوفه سیلوشده بود (P<۰/۰۱). تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک علوفه کینوآ به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ با

فرض سرعت عبور ۰/۰۴ در ساعت تفاوتی نداشتند و در دامنه ۶۵/۳۴ تا ۶۸/۸۸ درصد متغیر بود، درحالی‌که تجزیه‌پذیری مؤثر ماده خشک علوفه کینوآ به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ با فرض سرعت‌های عبور ۰/۰۶ و ۰/۰۸ در ساعت متفاوت بودند (P<۰/۰۵).

بالاتر بودن غلظت ماده خشک با سرعت تجزیه بالا (بخش a) در سیلاژ علوفه کینوآ در مقایسه با علوفه خشک‌شده در راستای نتایج حاصل از میزان ناپدیدشدن شکمبه‌ای این دو رقم بود. از آن‌جا که غلظت بخش با تجزیه سریع خوراک تحت تأثیر عواملی از قبیل حلالیت، ساختمان فیزیکی خوراک و میزان دیواره سلولی قرار دارد (Kamalak و همکاران، ۲۰۰۴)، در تفسیر نتایج می‌توان به غلظت کمتر الیاف نامحلول در شوینده خنثی و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در علوفه‌های سیلوشده کینوآ در مقایسه با علوفه‌های خشک‌شده اشاره کرد. در منابع علمی گزارشی از نتایج تجزیه‌پذیری کاه کینوآ در شکمبه یافت نشد، اما نتایج تعیین تجزیه‌پذیری شکمبه‌ای ماده خشک گیاه سلمه‌تره که هم‌جنس با کینوآ می‌باشد نشان می‌دهد که بخش a، بخش b و میزان نرخ تجزیه‌پذیری (c) به‌ترتیب ۴۵/۰۳ و ۳۹/۰۹ درصد و ۰/۱۲ در ساعت گزارش‌شده است (Heidari، ۲۰۱۴) که با نتایج آزمایش اخیر مطابقت دارد.

جدول ۵- فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری ماده خشک علوفه کینوآ به‌صورت خشک و سیلوشده در شکمبه

Table 5- Dry matter degradability parameters of dried and ensiled quinoa forages in the rumen

تیمارهای آزمایشی Treatments			فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری[1] Degradability Parameters[1]			تجزیه‌پذیری مؤثر[2] (درصد) Effective degradability[2]		
			a	b	c	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸
علوفه تازه	سجاما	Sejama	39.23^{d}	42.85^{a}	0.080^{ab}	67.78^{a}	63.70^{b}	60.64^{b}
خشک‌شده	تیتیکا	Titicaca	38.05^{e}	40.74^{b}	0.082^{a}	65.34^{b}	61.49^{c}	58.60^{c}
Freshly dried forage	$Q_{۱۲}$	Q_{12}	41.44^{c}	40.80^{b}	0.075^{bc}	67.98^{a}	64.03^{ab}	61.11^{b}
سیلاژ ۶۰	سجاما	Sejama	41.26^{c}	39.61^{b}	0.064^{d}	65.58^{b}	61.64^{c}	58.81^{c}
روزه	تیتیکاکا	Titicaca	49.40^{a}	33.64^{d}	0.54^{e}	68.60^{a}	65.22^{a}	62.85^{a}
60 days silage	$Q_{۱۲}$	Q_{12}	45.91^{b}	35.93^{c}	0.071^{c}	68.88^{a}	65.37^{a}	6280^{a}
انحراف استاندارد میانگین‌ها		SEM	0.219	0.430	0.002	0.470	0.469	0.461
سطح معنی‌داری		P-value	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
سطح معنی‌داری مقایسات گروهی بین			P- value in group comparisons between					
علوفه‌های خشک و سیلاژ		Dry forages and silages	0.0001	0.0001	0.0001	0.10	0.02	0.002
علوفه خشک و سیلاژ سجاما		Dry forage and sejama silage	0.0001	0.0001	0.0001	0.003	0.006	0.01
علوفه‌خشک و سیلاژ تیتیکاکا		Dry forage and titicaca silage	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
علوفه خشک و سیلاژ $Q_{۱۲}$		Dry forage and silage Q_{12}	0.0001	0.0001	0.27	0.18	0.06	0.02

۱- a= بخش با تجزیه‌پذیری سریع (درصد)، b= بخش با تجزیه‌پذیری کند (درصد) و c =ثابت نرخ تجزیه (در ساعت).

۲- تجزیه‌پذیری مؤثر با فرض سرعت‌های عبور ۰/۰۴، ۰/۰۶ و ۰/۰۸ در ساعت.

- میانگین‌ها با حروف متفاوت در هر ستون دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند (P<.۰/۰۵).

1- a, rapidly degradable DM fraction; b, slowly degradable fraction; c, rate constant of degradation of b fraction.
2- Effective degradability of DM. with ruminal outflow rate 0.02, 0.04, 0.08 per hour.
- Means within a column with different subscripts differ (P < 0.05).

در آزمایش مشابه دیگری مقادیر فراسنجه‌های تجزیه‌پذیری a، b و c در گیاه سلمه‌تره به‌ترتیب ۲۶/۷۴، ۳۴/۰۵ درصد و ۰/۱۹۴ در ساعت گزارش‌شده است (Hoseini Nejad و همکاران، ۲۰۱۲) که با نتایج آزمایش اخیر مطابقت ندارد. در این مطالعه، علاوه بر سلمه‌تره، تجزیه‌پذیری چهار گیاه شورزیست دیگر نیز موردبررسی قرارگرفته است و همبستگی منفی و بالایی (R^2=۰/۹۶) بین میزان تجزیه‌پذیری و غلظت دیواره سلولی در گیاهان شورزیست خانواده کنوپودیاسه گزارش‌شده است (Hoseini Nejad و همکاران، ۱۳۹۱).

در راستای نتایج آزمایش اخیر، Valizadeh و همکاران (۲۰۱۰) میزان ماده خشک با تجزیه‌پذیری سریع (a) را در قسمت‌های مختلف گیاه شورزیست اروشیا شامل گیاه کامل، برگ و ساقه را به‌ترتیب ۲۳/۲، ۳۲/۰ و ۱۱/۰ درصد و میزان ماده خشک با تجزیه‌پذیری کند (b) در بخش‌های مختلف این گیاه را به ترتیب ۳۰/۵، ۵۲/۰ و ۱۶/۴ درصد گزارش کردند، درحالی‌که در گیاهان کوشیا و آتریپلکس میزان ماده خشک با تجزیه‌پذیری سریع (بخش a) به ترتیب ۲۸/۵۴ و ۲۶/۹ درصد و میزان ماده خشک با سرعت تجزیه کند (بخش b) به ترتیب ۳۶/۶۵ و ۳۴/۹۷ درصد گزارش‌شده است (Mahmodi Abyaneh، ۲۰۱۱).

نتیجه‌گیری کلی

جاذبه‌های تغذیه‌ای و تجاری بالای کینوآ سبب شده تا کِشت آن در کشور موردتوجه قرار گیرد. طول دوره رشد این گیاه کوتاه است و عملکرد علوفه تر این گیاه در شرایط اقلیمی کرمان در ژنوتیپ‌های سجاما، تیتیکاکا و $Q_{۱۲}$ در دوره ۶۰ روزه حدود ۳۰ تا ۳۶/۵ تن در هکتار و قابل‌رقابت با سایر علوفه‌های رایج می‌باشد. گوارش‌پذیری ماده خشک علوفه کینوآ به‌صورت خشک‌شده و سیلاژ در ژنوتیپ‌های موردبررسی نشان داد که از وضعیت قابل قبولی برخوردار است؛ اما از نظر ترکیب شیمیایی و همچنین ویژگی‌هایی سیلویی بین ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت‌های زیادی وجود دارد و لازم است تحقیقات بیشتری برای انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب و برتر برای تغذیه دام انجام گیرد

منابع

Abarghuei, M.J., Shakeri, P., Fazaeli, H., Karimi, A.H., Boostani, A., Izadi, G.A., Izadi, M., Salehi, M., Mohammadi, D. Owji, T. Agah, M.J. & Mardaneh, A. (2023). Determination of chemical composition, degradability and digestibility of quinoa forage in different stages of harvesting. Final reports of research project. *Animal Science Research Institute of Iran*. (In Persian).

Abdallah, M. El, S. (2016). Evaluation of (*Chenopodium quinoa* willd) as a new forage crop under Egyptian condition. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of master in agriculture science, Department of Animal Production Faculty of Agriculture in Shams University.

Adesogan, A.T. (2005). Effect of bag type on the apparent digestibility of feeds in Ankom DaisyII incubators. *Animal Feed Science and Technology*, 119: 333-344.

Ashera, A., Shmuel, G., Travis, W. & Lior, R. (2020). The potential of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivation in Israel as a dual-purpose crop for grain production and livestock feed. *Scientia Horticulturae*, 272: 109534.

Barros-Rodríguez, M., Cajas-Naranjo, M., Núñez-Torres, O., Mera-Andrade, R., Artieda-Rojas, J., Sandoval-Castro, C. & J. Solorio-Sánchez. (2018). *In situ* rumen degradation kinetics and *in vitro* gas production of seed, whole plant and stover of *Chenopodium quinoa*. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 28(1): 327-331.

Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M.S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M.I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N.A., Shams, A., Souici, D., Miri, K. & Padulosi, S. (2016). Worldwide evaluations of quinoa: preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, https://doi.org/10.3389/fpls. 2016.00850.

Buxton, R., Muck, R.E. & Harrison, F. 2003. Silage science and technology. American society of agronomy, Madison, Wiscosin, USA.

Danesh Mesgaran, M. & Stern, M.D. (2005). Ruminal and post-ruminal protein disappearance of various feeds originating from Iranian plants varieties determined by the *in situ* mobile bag technique and alternative methods. *Animal Feed Science and Technology*, 118: 31-46.

Erdoğan ,H. & Koca, Y.O. (2020). Effect of Quinoa-Corn intercropping production system on yield and quality of mixture silage. *Turkish Journal of Range and Forage Science*, 1(2): 57-65.

Hameleers, A., Leach, K.A. Offer, N.W. & Roberts, D.J. (1999). The effect of incorporating sugar beet pulp with forage maize at ensiling on silage fermentation and effluent output using drum silos. *Grass and Forage Science*, 54: 322-335.

Heidari, H., Bashtani, M., Asghari, M.R. & Naimipour Younesi, H. (2014). Determination of nutritional value of Fat-hen processed with lime at different times using *in situ* technique. *Range Management*, 3 (1): 81-97. (In Persian).

Hoseini Nejad, Z., Yoosefollahi, M. & Fazayeli, H. (2012). Nutritive Value of Five halophytes determined in Sistan area. *Iranian Journal Animal Science*, 43 (1): 1-10. (In Persian).

Kamalak, A., Canbolat O. & Gurbuz. Y. (2004). Comparison between *in situ* dry matter degradation and *in vitro* gas production of tannin containing leaves from four tree species. *South African Journal of Animal Science*, 34(4): 524-532.

Kaya, E. & Aydemir, S.K. (2020). Determining the forage yield, quality and nutritional element contents of quinoa cultivars and correlation analysis on these parameters. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(2): 311-317.

Kilic, A. (1986). Silo feed (instruction, education and application proposals). Bilgehan Pres. 327.

Khorvash, M. Colombatto, D., Beauchemin, K.A., Ghorbani, G.R. & Samei. A.H. (2005). Use of absorbant and inoculants to enhance the quality of corn silage. *Canadian Journal of Animal Science*, 86: 97-107.

Mahmodi Abyaneh, M. (2011). Comparison of Nutritional Value of 3 Halophyte species with wheat straw and alfalfa hay. Thesis of Master Science, Mashhad Ferdowsi University. (In Persian).

McDonald, P., Henderson A.R. & Heron, S.J.E. (1991). The Biochemistry of Silage, 2nd ed. Holcombe Publications, UK.

Muller, T.H., Seyfarthw, F. & Krabe, O. (1991). Quality of grass silage depending on epiphytic lactic acid bacteria. In Forage Conservation Towards 2000 ed. Braunschweig: Institute of Grassland and Forage Research.

Ørskov, E.R. & McDonald, I. (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.

Ørskov, E.R., Deb hovel, F.D. & mould, F. (1980). The use of the nylon bag technique for the evaluation of feed stuffs. *Tropical Animal Health and Production*, 5: 195-213.

Papastylianou, P., Kakabouki, I., Tsiplakou, E., Travlos, I., Bilalis, D., Hela, D., Chachalis, D., Anogiatis, G. & Zervas, G. (2014). Effect of fertilization on yield and quality of biomass of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and green amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.). *Bulletin UASVM Horticulture*, 71(2): 288-292.

Peiretti, P.G., Gai, F. & Tassone, S. (2013). Fatty acid profile and nutritive value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds and plants at different growth stages. *Animal Feed Science and Technology*, 183: 56-61.

Podkówka, Z., Gęsiński, K. & Podkówka, L. (2018). The influence of additives facilitating ensiling on the quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) silage. *Journal of Central European Agriculture*, 19(3): 607-614.

Razzaghi, A., Valizadeh, R. & Tarahimi, M. (2015). Chemical composition, *in situ* ruminal degradability, and gas production of *Atriplex canesences*, *Salsola rigida and Aeluropus littoralis*. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 7 (1): 1-11. (In Persian).

Saberi, A. & Kiani, A. (2023). The effects of plant density and irrigation frequency on production and water content of varieties Kochia, Quinoa and Forage sorghum. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 17(1): 56-67.

Salama, R., Yacout, M.H. Elgzar, M.I.T. & Awad, A.A. (2021). Nutritional evaluation of quinoa **(***Chenopodium quinoa* willd**)** crop as unconventional forage resource in feeding ruminants. *Egyptian Journal of Nutrition and Feeds*, 24(1): 77-84.

SAS. (2003). SAS User's Guide Statistics. Version 9.1 Ed. SAS Inst., Inc., Cary NC.

Shakeri, P. and Fazaeli, H. (2004). A survey of nutritive value of gramineae range species in Kerman province, Iran. Proceeding of the 4th International Iran & Russia Conference. University of Shahrekord, Iran. 1044-1047.

Shakeri, P., Dayani, O., Asadi Korom, M., Naghafineghad, H. & Aghashahi, A.R. (2019). Determination of nutritive value, fermenability and degradability in two genotypes of Quinoa crop residues. *Journal of Ruminant Research*, 7(2): 83-96. (In Persian).

Sheikhi Sanandaji, D., Heidari, G., Fathi, P., Sharifi, Z. & Khodaverdiloo, H. (2023). Investigating the effects of different levels of vermicompost and irrigation on the yield and quality of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) forage. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 54(2): 15-29.

Valizadeh, R., Ghadami Koohestani, M. & Melati, F. (2010). Chemical composition, *in situ* degradability and *in vitro* gas production of winter fat plant (*Eurotia ceratoides*). *Iranian Journal of Animal Science Research*, 3(2): 159-165.(In Persian)

Van Soest, P.J. (1994). Nutritional Ecology of the Ruminant. 2th ed. Cornell University Press. Ithaca, NY, PP. 476.

Wilson, R.K. (1985). Laboratory studies on chemical, electric-resistance and physical changes in grass silage over the first 14 days. *Irish Journal of Agricultural Research*, 24:39.