

Evaluation of Silo Covering Type and Structure on Dry Matter Loss, Quality and Fermentation Profile of Corn Silage

Najme Eslamian Farsuni^{1*}, Golnaz Tasali², Tahereh Amirabadi Farahani³, Mohsen Bagheri⁴, Hossein Akbarizadeh⁵, Hamid Amanlou⁶, Alireza Aghashahi⁷

¹ Assistant Research Professor, Department of Animal Science Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran. Email: n.e.farsuni@areeo.ac.ir

² Assistant Research Professor, Department of Animal Science Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran.

³ Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

⁴ Instructor, Department of Animal Science Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shahrekord, Iran.

⁵ M.Sc. Graduate, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

⁶ Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

⁷ Associate Research Professor, Animal Science Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Article Info

Article type:

Research Full Paper

ABSTRACT

Background and Objective: Corn silage is a major component of dairy cow diets, playing a crucial role in energy supply and overall animal productivity. Silage quality is influenced by various factors, including the silo structure and the methods used for covering and insulation. Selecting an appropriate covering method can reduce air infiltration, thereby minimizing dry matter (DM) loss and nutrient degradation. This study aimed to evaluate the effects of two covering methods—plastic sheet protected by green mesh (GS) and plastic sheet protected by tarpaulin (TS)—on the chemical quality, fermentation profile, and dry matter loss of corn silage stored in bunker and trench silos over a three-year period.

Article history:

Received:

Revised:

Accepted:

Materials and Methods: A total of 12 silos (six bunker and six trench silos) were evaluated over three years (two silos per type annually from 2020 to 2022) at the Zagros Dairy and Meat Company farm in Shahr-e Kord, Iran. Two covering systems were tested. In the GS method, a plastic sheet was covered with a green mesh layer, while in the TS method; the plastic sheet was covered with a tarpaulin layer. Each silo was longitudinally divided to apply both covering systems. At silo filling, three mesh bags containing fresh chopped corn were buried at the center of the silage mass at 10-meter intervals (central samples; CeS) as positive controls. Additionally, 18 mesh bags (nine per covering method) were buried 40 cm below the top layer at three distances (100, 200, and 300 cm) from the sidewall (GS100, GS200, GS300 and TS100, TS200, TS300).

Keywords:

Corn silage

Covering

dry matter loss

silo structures

Results: In both silo types, the DM content at 300 cm from the sidewall was significantly higher in TS-covered silages than in GS-covered ones ($P < 0.05$). In trench silos, ash content at 100 cm from the sidewall was higher in GS than in TS ($P = 0.01$). In bunker silos,

ash content was generally higher in GS-covered samples than in TS at all distances from the wall ($P < 0.05$). The DM loss at 100 cm from the sidewall was significantly greater in GS than TS (40.22% vs. 51.23%; $P = 0.05$). Silage pH was lower in TS compared to GS at 100 and 200 cm from the sidewall ($P < 0.05$). Ammonia concentration in CeS samples was similar to TS (0.20 vs. 0.19; $P = 0.73$), but significantly lower than in GS (0.20 vs. 0.28; $P = 0.01$). Lactic acid content was higher in TS than GS at 100 and 200 cm distances from the wall ($P < 0.05$). The covering type did not significantly influence acetate, butyrate, or propionate levels, nor did it impact gas production parameters.

Conclusion: The findings indicate that the tarpaulin covering system (TS) was more effective than the green mesh covering (GS) in reducing dry matter losses and improving the chemical quality of corn silage in both bunker and trench silos. Therefore, using TS as a covering method is recommended as a practical strategy to preserve the nutritional value and improve the storage quality of silage under similar conditions.

Cite this article: Eslamian Farsuni, N., Tasali, G., Amirabadi Farahani, T., Bagheri, M, Akbarizadeh, H., Amanlou, H., Aghashahi, A.R. (2026). Evaluation of Silo Covering Type and Structure on Dry Matter Loss, Quality, and Fermentation Profile of Corn Silage. *Journal of Ruminant Research*, 13(4),



© The Author(s)



Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی اثر نوع پوشش و ساختمان سیلو بر اتلاف ماده خشک، کیفیت و پروفایل تخمیر سیلاژ ذرت

نجمه اسلامیان فارسونی^{۱*}، گل ناز تأسلی^۲، طاهره امیرآبادی فراهانی^۳، محسن باقری^۴،

حسین اکبری زاده^۵، حمید امانلو^۶، علیرضا آقاشاهی^۷

- ^۱ استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران، ایمیل: n.e.farsuni@areeo.ac.ir
- ^۲ استادیار پژوهشی بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.
- ^۳ استادیار گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
- ^۴ مربی بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.
- ^۵ دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ^۶ استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
- ^۷ دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات علوم دامی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	هدف و سابقه: سیلاژ ذرت به عنوان یکی از اجزای کلیدی جیره گاوهای شیری، نقش مهمی در تأمین انرژی و بهبود عملکرد تولیدی دام دارد. کیفیت سیلاژ تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع ساختمان سیلو و روش های پوشش و عایق بندی آن قرار می گیرد. انتخاب مناسب ترین روش پوشش می تواند با کاهش نفوذ هوا، میزان افت ماده خشک و تخریب مواد مغذی را به حداقل برساند. این پژوهش باهدف ارزیابی تأثیر دو روش پوشش (لایه پلاستیکی محافظت شده با لایه مشبک سبزرنگ و لایه پلاستیکی محافظت شده با برزنت) بر کیفیت شیمیایی و میزان اتلاف ماده خشک سیلاژ ذرت در سیلوهای بانکری و خندقی طی یک دوره سه ساله طراحی و اجرا گردید.
تاریخ دریافت:	
تاریخ ویرایش:	
تاریخ پذیرش:	
واژه های کلیدی:	مواد و روش ها: شش سیلوی بانکری (روی زمینی) و شش سیلوی خندقی (داخل زمینی) طی یک دوره سه ساله، برای هر ساختمان سیلو، دو مورد در سال ۱۳۹۹، دو مورد در سال ۱۴۰۰ و دو مورد در سال ۱۴۰۱ در مزرعه گاو شیری شرکت شیر و گوشت زاگرس شهرکرد نمونه گذاری شدند. دو روش برای عایق کردن سیلوها مورد ارزیابی قرار گرفت. در روش اول، پس از کشیدن یک لایه پلاستیکی روی سیلو، از آن به وسیله یک لایه پلاستیکی مشبک سبزرنگ (Green mesh sheet; GS) محافظت شد. در روش دوم، لایه پلاستیکی به وسیله یک لایه برزنت (Tarpaulin sheet; TS) محافظت گردید. سیلوهای بانکری و خندقی به صورت طولی به دو قسمت برای اعمال دو سیستم عایق تقسیم شدند. در زمان پر کردن سیلوها، سه کیسه توری حاوی ذرت تازه خرد شده در قسمت مرکزی سیلوها در سه قسمت به فاصله ۱۰ متر از

هم (نمونه‌های مرکزی CeS) به‌عنوان کنترل مثبت دفن شدند. پس از پر کردن، ۱۸ کیسه توری (نه کیسه در هر روش پوشش) حاوی همان مقدار ذرت خردشده در ۴۰ سانتی‌متر زیر سطح بالایی در سه فاصله متفاوت از دیواره جانبی سیلو (یک کیسه در هر مکان) دفن شدند. فاصله از دیواره برای سه بخش به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر بود (GS100، GS200 و GS300 برای لایه پلاستیک توری و TS100، TS200 و TS300 برای لایه برزنت).

یافته‌ها: در هر دو نوع ساختمان سیلو ماده خشک نمونه‌های سیلاژ در فاصله ۳۰۰ سانتی‌متری از دیواره در عایق برزنتی نسبت به مشبک سبزرنگ بالاتر بود ($P < 0/05$). در سیلوی خندقی، در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از دیواره درصد خاکستر در عایق نسبت GS به TS بالاتر بود ($P = 0/01$)؛ اما نمونه‌ها در سیلوی بانکری در فواصل متفاوت از دیواره در عایق GS دارای درصد خاکستر بالاتری در مقایسه با عایق TS بودند ($P < 0/05$). درصد اتلاف ماده خشک سیلاژ ذرت در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از دیواره در نمونه‌های سیلاژ GS در مقایسه با TS ($P = 0/05$)، ۴۰/۲۲ در مقابل ۵۱/۲۳ (درصد) بالاتر تر بود. در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر از دیواره سیلو pH در عایق TS نسبت به GS کم‌تر بود ($P < 0/05$). غلظت آمونیاک در نمونه‌های سیلاژ Ces با نمونه‌های سیلاژ TS مشابه بود (۰/۲۰ در برابر ۰/۱۹؛ $P = 0/73$)، اما درصد آمونیاک در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود (۰/۲۸ در برابر ۰/۲۰؛ $P = 0/01$). درصد لاکتات در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در سیستم عایق TS در مقایسه با GS بالاتر بود ($P < 0/05$). نوع عایق درصد استات، بوتیرات، پروپیونات و فراسنجه‌های تولید گاز را تحت تأثیر قرار نداد.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از پوشش برزنتی نسبت به پوشش مشبک سبزرنگ در هر دو نوع ساختمان سیلو (بانکری و خندقی)، در کاهش میزان اتلاف ماده خشک و بهبود کیفیت شیمیایی سیلاژ ذرت مؤثرتر بود؛ بنابراین، استفاده از سیستم عایق‌بندی برزنتی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار عملی برای حفظ ارزش غذایی و بهبود کیفیت ذخیره‌سازی سیلاژ در شرایط مشابه توصیه شود.

استناد: اسلامیان فارسونی، نجمه؛ تأسلی، گل ناز؛ امیرآبادی فراهانی، طاهره؛ باقری، محسن؛ اکبری زاده، حسین؛ امانلو، حمید؛ آقاشاهی، علیرضا. (۱۴۰۴). ارزیابی اثر نوع پوشش و ساختمان سیلو بر اتلاف ماده خشک، کیفیت و پروفایل تخمیر سیلاژ ذرت. پژوهش در نشخوارکنندگان، ۱۳(۴).



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

گیاهان علوفه‌ای بر اساس تولید کربوهیدرات‌ها، به دو گروه سه کربنه (C3) و چهار کربنه (C4) دسته بندی می‌شوند. مهم ترین تفاوت این دو گروه در مکانیسم تثبیت کربن طی فرآیند فتوسنتز سلول‌های گیاهی آن‌ها است. گیاهان C3 برای فصل‌های خنک‌تر مناسب هستند، فصل رشد طولانی تری دارند و به آب بیش‌تری نیازمندند. در مقابل، گیاهان C4 مناسب فصل گرم هستند و بازده مصرف آب بهتری دارند و به خشکی نیز مقاوم‌تر هستند. یونجه به‌عنوان یک گیاه C3 دارای نیاز آبی بالایی است (Bennett & Doss, 1963)، درحالی‌که ذرت علوفه‌ای که جز گیاهان C4 است حدود یک دوم آب موردنیاز یونجه را استفاده می‌کند (۸۴۴ در برابر ۳۷۲ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماده خشک) (Martin و همکاران، ۱۹۷۶) عوامل زیادی در مقبولیت بالای ذرت علوفه‌ای نزد پرورش‌دهندگان گاو شیری سهم دارند که شامل هزینه برداشت پایین‌تر، کمینه کردن خطرات تولید، تولید بیش‌تر به ازای هر هکتار و انعطاف‌پذیری برای برداشت ذرت برای علوفه یا دانه هستند (Allen و همکاران، ۲۰۰۳). افزون بر آن، ذرت سیلو شده به‌طور منحصربه‌فردی در مقایسه با دیگر علوفه‌ها برای متخصصان تغذیه گاو شیری این فرصت را فراهم می‌کند تا انرژی بالایی (عمدتاً از نشاسته موجود در دانه) را به همراه الیاف نامحلول در شوینده خنثی (NDF) مؤثر فیزیکی (peNDF)، موجود در ساقه، تأمین کنند (Ferraretto و همکاران، ۲۰۱۸).

سیلاژ ذرت به‌عنوان رایج‌ترین علوفه مورد استفاده در تغذیه گاوهای شیری شناخته می‌شود. تولید سیلاژ باکیفیت همراه با اجتناب از اتلاف در ماده خشک یک چالش است. فرایند ساخت سیلاژ به چهار مرحله تقسیم می‌شود: ۱) مرحله هوازی اولیه در سیلو بلافاصله پس از برداشت؛ ۲) مرحله تخمیر؛ ۳) مرحله

ذخیره پایدار در سیلو و ۴) مرحله خوراندن سیلو، زمانی که سطح سیلو باز می‌شود و مواد در معرض اکسیژن هوا قرار می‌گیرد (Davies و Wilkinson، ۲۰۱۳). اتلاف ماده خشک و تغییرات کیفی ممکن است طی هر یک از این مراحل در فرآیند سیلو کردن رخ دهد که کیفیت فرآورده مصرفی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مراحل اصلی که اتلاف در آن رخ می‌دهد شامل برداشت در مزرعه، تنفس سیلویی و تخمیر، تولید شیرابه و در معرض قرارگیری با اکسیژن طی انبار و برداشت از سیلو است (Borreani و همکاران، ۲۰۱۸).

کیفیت و بازده علوفه سیلو شده به شدت تحت تأثیر فرآیند تخمیر بی‌هوازی و شرایط نگهداری آن در طول دوره ذخیره‌سازی قرار دارد (Borreani و همکاران، ۲۰۰۷؛ Woolford، ۱۹۹۰). عواملی مانند دانسیته فشردگی، سرعت برداشت روزانه، نوع و کیفیت پوشش پلاستیکی، استفاده از افزودنی‌های سیلاژ و پروفایل تخمیر، درصد ماده خشک در زمان سیلو کردن و روش بستن سیلو از جمله عوامل کلیدی در کاهش تلفات ماده خشک و حفظ ارزش تغذیه‌ای سیلاژ محسوب می‌شوند (Savoie، ۱۹۸۸؛ Weinberg و Muck، ۱۹۹۶؛ Johnson و همکاران، ۲۰۰۲؛ Borreani و همکاران، ۲۰۰۷؛ Holmes و Muck، ۲۰۰۷). مدیریت صحیح این عوامل از طریق فشردگی مناسب، انتخاب پوشش‌های کارآمد، طراحی بهینه سیلو و استفاده از افزودنی‌های مناسب و بستن محکم پوشش پلاستیکی و آستر کردن دیوارهای سیلو و کاهش خطر آسیب‌های مکانیکی به پوشش به واسطه محافظت از آن با یک توری یا برزنت نقش مهمی در افزایش پایداری هوازی و بهبود کیفیت میکروبیولوژیکی سیلاژ ایفا می‌کند (Muck و Holmes، ۲۰۰۰؛ Kristensen و همکاران، ۲۰۱۰؛ Lima و همکاران، ۲۰۱۷). فساد در این ماده خوراکی

می تواند ماده خشک مصرفی را تحت تأثیر قرار دهد (Gerlach و همکاران، ۲۰۱۳) که پیامدهای اساسی بر سودهی صنعت پرورش گاو شیری خواهد داشت (Kristensen و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی اثر ساختمان سیلو و نوع پوشش سیلو بر اتلاف ماده خشک و فساد سیلاژ ذرت در مقیاس مزرعه‌ای است.

مواد و روش‌ها

شش سیلو بانکری (روی زمینی) و شش سیلوی خندقی (داخل زمینی) طی یک دوره سه‌ساله، هر ساختمان سیلو دو تا در سال ۱۳۹۹، دو تا در سال ۱۴۰۰ و دو تا در سال ۱۴۰۱ در مزرعه گاو شیری شرکت شیر و گوشت زاگرس شهرکرد نمونه‌گذاری شدند. عرض، ارتفاع و طول سیلوهای بانکری به ترتیب ۱۲، ۳ و ۵۰ متر و برای سیلوهای خندقی به ترتیب ۲۱، ۵ و ۱۱۰ متر بود. متوسط دوره ذخیره ۱۸۰ روز (۱۲۰ تا ۲۵۰ روز) و نرخ برداشت ۱ متر (۰/۷۵ تا ۱/۵۰ متر) بود. سیلوی ذرت کامل با هر دو دستگاه برداشت علوفه کشتی و خودکشتی به طول تئوری ۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر برداشت شد.

دو روش برای پوشاندن سیلوها مورد ارزیابی قرار گرفتند. در روش اول پس از کشیدن یک‌لایه پلاستیکی بر سطح سیلو، آن توسط یک‌لایه پلاستیکی مشبک سبزرنگ (GS)^۱ محافظت شد. در روش دوم لایه پلاستیکی توسط یک‌لایه برزنت (TS)^۲ محافظت گردید. سیلوهای بانکری و خندقی به‌صورت طولی به ۲ قسمت برای اعمال ۲ سیستم پوشش تقسیم شدند. در زمان پر کردن سیلو، ۳ کیسه توری حاوی $60 \pm 6/45$ کیلوگرم ذرت تازه خردشده در قسمت مرکزی سیلوها در ۳ قسمت به فاصله ۱۰ متر از هم

دفن شدند (نمونه‌های مرکزی CeS) و به‌این‌ترتیب از ۲ انتهای آن به‌عنوان حاشیه استفاده شد. از آنجایی‌که قسمت مرکزی سیلو تحت تأثیر اثرات منفی اکسیژن (تخریب هوازی) قرار نمی‌گیرد یا کمی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، نمونه‌های CeS به‌عنوان کنترل مثبت (شاهد) در نظر گرفته شدند. پس از پر کردن، ۱۸ کیسه توری (۹ کیسه در هر روش پوشش) حاوی همان مقدار ذرت خردشده در ۴۰ سانتی‌متر زیر سطح بالایی (Lima و همکاران، ۲۰۱۷؛ Borreani و همکاران، ۲۰۰۷) در ۳ فاصله متفاوت از دیواره جانبی سیلو (یک کیسه در هر مکان) دفن شدند (Ashbell و Kashanchi، ۱۹۸۷). فاصله از دیواره برای سه بخش به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر بود (GS100، GS200 و GS300 برای لایه پلاستیک توری و TS100، TS200 و TS300 برای لایه برزنت). زمان خوراندن سیلو، وقتی برداشت از سیلو به فاصله نیم متری از کیسه‌ها قرار گرفت، کیسه‌ها از سیلو برای انجام آنالیزهای بعدی و تعیین اتلاف ماده خشک خارج شدند. جهت حفظ اتصال عایق بر روی سطح سیلو و سنگین شدن کناره‌ها از آجر استفاده شد.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها: نمونه‌های گیاه کامل ذرت و نمونه‌های سیلاژ ذرت در ۶۰ درجه سانتی‌گراد طی ۷۲ ساعت برای تعیین ماده خشک ر آون (DMoven) خشک شدند و در مجاورت هوا قرار گرفتند و وزن، آسیاب و با الک یک میلی‌متری غربال شدند. ماده خشک برای اتلاف مواد فرار طی خشک کردن با آون تصحیح شد (Volden، ۲۰۱۱). نمونه‌های خشک‌شده پیش و پس از سیلو کردن برای نیتروژن (AOAC، ۱۹۹۰؛ method 984.13)، عصاره اتري (AOAC، ۱۹۹۰؛ method 920.39)، خاکستر (AOAC، ۱۹۹۰؛ method 942.05) ADF و (Mertens، ۲۰۰۲) NDF و (1990؛ method 973.18) آنالیز شدند.

¹ Green mesh sheet

² Tarpaulin sheet

اتلاف ماده خشک بر اساس تفاوت بین وزن ماده خشک قرار داده شده در هر کیسه در هنگام سیلو کردن و ماده خشک حذف شده در زمان برداشت کیسه‌ها از سیلو محاسبه شد.

شاخص فلیگ با توجه به ماده خشک و pH سیلاژ و بر اساس رابطه زیر محاسبه شد که در آن نمره ۸۱ تا ۱۰۰ برابر با امتیاز خیلی خوب، نمره ۶۱ تا ۸۰ برابر با امتیاز خوب، نمره ۴۱ تا ۶۰ برابر با امتیاز قابل قبول، نمره ۲۱ تا ۴۰ برابر با امتیاز متوسط و نمره صفر تا ۲۰ برابر با امتیاز بد در نظر گرفته شد (Kilic, ۱۹۸۶).

$$\text{Fleig point} = 220 + (2 \times \% \text{ dry matter} - 15) - 40 \times \text{pH}$$

ارزیابی ظاهری و فیزیکی سیلاژ بر اساس (Kilic, ۱۹۸۶) با استفاده از یک مقیاس ۲۰ امتیازی شامل ۵ نمره استحکام بافت، ۵ نمره بوی اسیدی، ۵ نمره رنگ و ۵ نمره کپک‌زدگی سیلاژ انجام می‌شود.

برای اندازه‌گیری pH، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ۱۰ گرم نمونه تازه سیلوها اضافه و نمونه به مدت ۱۰ دقیقه با همزن مخلوط شد. مخلوط با عبور از پارچه کتان صاف و pH محلول به دست آمده با استفاده از pH متر دیجیتالی (Metrohm, Swiss) قرائت شد (Adesogan, ۲۰۰۲).

به منظور اندازه‌گیری پروفایل اسیدچرب و نیتروژن آمونیاکی ۲۰ گرم از هر کیسه با ۱۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد، پس از گذراندن از دولایه پارچه صافی، pH عصاره تعیین و سپس، ۱ میلی‌لیتر اسید متا فسفریک ۲۵ درصد به هر ۵ میلی‌لیتر از عصاره صاف شده اضافه می‌شود و نمونه‌ها تا زمان اندازه‌گیری اسیدهای چرب فرار در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد ذخیره می‌شوند. اسیدهای چرب فرار مایع شکمبه به وسیله روش گاز کروماتوگرافی (HI 8318; Hanna Instruments, Cluj-Napoca, Romania) با یک ستون سلیکا فیوزد CP-Wax ۵۰-m (Chrompack Capillary Column; Varian Inc., Palo

Alto, CA)^۱ اندازه‌گیری شدند. نیتروژن به عنوان کریر (حامل) گاز استفاده شد. درجه حرارت آون اولیه و نهایی به ترتیب ۵۵ و ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد بود. اسید کروتونیک به عنوان استاندارد داخلی مورد استفاده قرار گرفت و درجه حرارت دتکتور و انجکتور بر روی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. اسید اسیدلاکتیک از طریق روش Kalzendorf (۱۹۹۲) اندازه‌گیری شد.

به منظور اندازه‌گیری نیتروژن آمونیاکی به عصاره حاصل از نمونه سیلو ۵ میلی‌لیتر محلول اسیدکلریدریک ۰/۲ نرمال اضافه شد و با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس ۱۰۰ میکرولیتر از مایع رویی (مایع شکمبه سانتریفیوژ شده) به ۹۰۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه و کاملاً مخلوط گردید. مقدار ۲/۵۰ میلی‌لیتر محلول فنول به داخل لوله‌های آزمایش به تعداد مورد نیاز اضافه شد. مقدار ۵۰ میکرولیتر از هر نمونه به لوله نمونه و ۵۰ میکرولیتر از هر کدام از استانداردها به لوله‌های استاندارد و ۵۰ میکرولیتر آب مقطر به لوله شاهد اضافه گردید و با دستگاه شیکر محتویات لوله‌ها کاملاً مخلوط شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر معرف هیپوکلریت سدیم به تمام لوله‌ها اضافه گردید. در ادامه لوله‌ها به مدت ۵ دقیقه در حمام آب گرم با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از پایان ۵ دقیقه لوله‌ها در یخچال خنک و جذب نمونه‌ها در طول موج ۶۳۰ توسط اسپکتوفتومتر (Genwa, Genway) اندازه‌گیری شد (Kang و Broderick, ۱۹۸۰).

آزمون تولید گاز و آماده‌سازی نمونه‌های تخمیر: نمونه‌های خشک شده سیلاژهای ذرت، با استفاده از آسیاب و توسط الک یک میلی‌متری غربال شدند. برای اندازه‌گیری فراسنجه‌های تولید گاز، ۲۵۰ میلی‌گرم از هر نمونه به درون بطری‌های ۱۰۰

¹ fused silica column

- b: میزان گاز تولیدی توسط بخش کند شونده خوراک (میلی لیتر)
- c: سرعت کل تولید گاز (درصد در ساعت)
- t: زمان (ساعت)

آنالیز آماری

داده های هر نوع ساختمان سیلو به طور مجزا در قالب طرح کاملاً تصادفی آنالیز شدند. داده ها با استفاده از روش Mixed (SAS Institute Inc., 2004) تجزیه و تحلیل شدند. این مدل شامل اثر ثابت تیمار (۷ مکان مختلف در هر ساختمان سیلو) و اثر تصادفی سیلو بود. مقدار هر پارامتر اندازه گیری شده، میانگین کیسه های توزیع شده در ۳ بخش و در نتیجه در مجموع ۸ تکرار (سیلو) در نظر گرفته شد. دو مقایسه متعامد^۱ برای مقایسه موقعیت های جانبی بالایی با نمونه های مرکزی (Ces) انجام شد (Ces vs. GS و Ces vs. TS). سه مقایسه متعامد برای مقایسه فواصل متناظر سیلو تحت پوشش ۲ سیستم عایق انجام شد (GS100 vs. TS100 و GS200 vs. TS200 و GS300 vs. TS300). معنی داری در $P \leq 0.05$ و تمایل به معنی داری $P > 0.05$ و $0.1 \geq P$ مشخص شد.

نتایج و بحث

ترکیب شیمیایی گیاه کامل ذرت در سیلوی بانکری و خندقی: ترکیب شیمیایی گیاه کامل ذرت علوفه ای پیش از سیلو کردن (میانگین نمونه برداری سه سال) در هر ساختمان سیلو در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین ماده خشک در زمان سیلو کردن به ترتیب در سیلوی بانکری و خندقی ۲۲/۹۷ و ۲۳/۱۵ درصد بود که از ماده خشک توصیه شده (۳۵ تا ۳۰ درصد) پایین تر بود.

میلی لیتری مخصوص تولید گاز ریخته شد. مایع شکمبه گوسفندی از نزدیک ترین کشتارگاه مربوط به یک مزرعه تهیه شد. محتویات شکمبه بلافاصله پس از کشتار خارج و توسط ۴ لایه پارچه از جنس کتان صاف شد و در بطری پلاستیکی کوچکی ریخته شد و این بطری درون یک فلاکس که از قبل با آب ۳۹ درجه سانتی گراد پر شده بود، قرار داده شد و برای حفظ شرایط بی هوازی تا زمان استفاده برای انکوباسیون به درون آن گاز دی اکسید کربن دمیده شد. محلول بافر مطابق روش Menke و Steingass (۱۹۸۸)، با استفاده از بی کربنات سدیم، مکمل مواد معدنی پرمصرف، مکمل مواد معدنی کم مصرف و رزاورین، محلول احیا و آب مقطر تهیه شد. قبل از انکوباسیون نمونه ها، مایع شکمبه با بافر در حضور گاز دی اکسید کربن در دمای ۳۹ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً مخلوط شد. به تمام شیشه های حاوی نمونه، ۴۰ میلی لیتر از مخلوط شکمبه و محلول بافر اضافه و سپس به داخل هر شیشه ۱۵ ثانیه دی اکسید کربن تزریق و بلافاصله در پوش لاستیکی شیشه ها گذاشته شد و با استفاده از محافظ آلومینیومی مخصوص پرس گردید. برای تصحیح میزان گاز حاصل از نمونه های خوراک، سه بطری فاقد ماده خوراکی به عنوان بطری های بلانک در نظر گرفته شد. میزان گاز تولیدی با فشارسنج (مدل Testo 512 Digitalmonomer) در زمان های ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ ساعت پس از شروع انکوباسیون قرائت شد. برای برآورد فراسنجه های تولید گاز از معادله ارسکوف و مکدونالد (۱۹۷۹) و رابطه زیر استفاده شد.

$$G=a+b\{1-e\}^{-ct}$$

در این رابطه:

G: میزان گاز تجمعی تولید شده در زمان (میلی لیتر)

a: میزان گاز تولیدی توسط بخش تند تجزیه شونده خوراک (میلی لیتر)

¹ contrasts

جدول ۱. ترکیب شیمیایی گیاه کامل ذرت در ساختمان‌های سیلوی بانکری و خندقی

Table 1. Chemical Composition of Whole Corn Plant in Bunker and Trench Silo Structures

سیلوی خندقی	سیلوی بانکری	ترکیب شیمیایی (درصد ماده خشک)
Trench Silo	Bunker Silo	Chemical composition (% of dry matter)
23.15 ± 1.38	22.97 ± 1.57	ماده خشک (Dry matter)
52.93 ± 2.74	53.85 ± 2.62	الیاف حاصل از شوینده خنثی (Neutral detergent fiber)
26.68 ± 1.52	27.98 ± 1.75	الیاف حاصل از شوینده اسیدی (Acid detergent fiber)
8.38 ± 0.80	8.61 ± 0.76	پروتئین خام (Crude protein)
2.33 ± 0.12	2.37 ± 0.14	عصاره اتری (Ether extract)
6.12 ± 0.73	7.12 ± 0.48	خاکستر (Ash)

یافته‌های سیلوهای خندقی: اثر نوع پوشش در سیلوهای خندقی بر ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت در جدول ۲ آورده شده است. درصد ماده خشک سیلاژ ذرت در Ces نسبت به GS و TS بالاتر بود (۲۳/۹۰ در برابر ۱۹/۰۶ و ۲۰/۸۹؛ $P=0/01$). درصد ماده خشک سیلاژ ذرت در GS100 و TS100 ($P=0/70$) و GS200 ($P=0/15$) مشابه بود؛ اما نمونه‌های TS300 ماده خشک بالاتری نسبت به نمونه‌های GS300 داشتند ($P=0/03$). درصد پروتئین خام، عصاره اتری و الیاف حاصل از شوینده اسیدی تحت تأثیر نوع پوشش در فواصل متفاوت از دیواره سیلوی ذرت قرار نگرفتند ($P>0/05$). درصد الیاف حاصل از شوینده خنثی در Ces نسبت به GS (۵۱/۴۶ در برابر ۵۷/۳۲؛ $P=0/01$) پایین‌تر بود و با سیستم پوشش TS تفاوت نداشت ($P=0/05$)؛ اما اثر نوع پوشش درصد الیاف حاصل از شوینده خنثی در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو را تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$). درصد الیاف حاصل از شوینده خنثی در TS300 نسبت به GS300 تمایل به کاهش داشت ($P=0/10$). درصد خاکستر سیلاژ ذرت در Ces در مقایسه با GS کم‌تر بود (۶/۴۶ در برابر ۶/۹۵؛ $P=0/01$)، اما درصد خاکستر در نمونه‌های سیلاژ Ces با پوشش TS مشابه بود ($P=0/18$)؛ اثر نوع پوشش

درصد خاکستر را در فواصل ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیوار سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$)؛ اما نمونه‌ها در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر در پوشش GS دارای درصد خاکستر بالاتری در مقایسه با پوشش TS بودند (۰/۰۱ = P). اثر نوع پوشش بر کیفیت و پروفایل تخمیر سیلاژ ذرت در سیلوهای خندقی در جدول ۳ آورده شده است. درصد اتلاف ماده خشک در Ces نسبت به GS پایین‌تر بود (۳۰/۲۳ در برابر ۴۲/۴۴؛ $P=0/01$)؛ اما درصد اتلاف ماده خشک در نمونه‌های Ces با نمونه‌های TS (۳۴/۷۰ درصد) مشابه بود ($P>0/05$). هم‌چنین، درصد اتلاف ماده خشک سیلاژ ذرت در GS100 در مقایسه با TS100 ($P=0/05$)؛ ۵۱/۲۳ در مقابل ۴۰/۲۲ درصد) بالاتر بود. نوع پوشش درصد اتلاف ماده خشک را در فواصل ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$). pH سیلاژ ذرت در Ces نسبت به GS پایین‌تر بود (۴/۲۱ در برابر ۵/۰۹؛ $P=0/01$)، اما با TS تفاوت نداشت ($P=0/68$). مقدار pH در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر از دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به GS کم‌تر بود ($P<0/05$)؛ اما pH در فاصله ۳۰۰ سانتی‌متری از دیواره تحت تأثیر نوع پوشش قرار نگرفت ($P=0/27$).

جدول ۳. اثر نوع پوشش بر کیفیت، پروفایل تخمیر و فراساده‌های تولید گاز سیلاژ در سیلو خندقی

Table 3. Effect of cover type on silage quality, fermentation profile and gas production parameters in trench silos

تیمارهای آزمایشی ^۱ (Experimental Treatments)												
Contrast, P-value						صفات						
GS300 vs. TS300	GS200 vs. TS200	GS100 vs. TS100	Ces vs. TS	Ces vs. GS	SE	GS300	GS200	GS100	TS300	TS200	TS100	Ces
0.08	0.60	0.05	0.16	0.01	3.79	37.95	38.15	51.23	28.48	35.33	40.22	30.23
0.27	0.01	0.01	0.68	0.01	0.20	4.62	5.26	5.37	4.29	4.42	4.14	4.21
0.10	0.03	0.01	0.21	0.01	8.12	59.96	32.72	25.90	79.15	70.62	76.07	84.15
0.01	0.03	0.34	0.05	0.01	0.37	16.41	16.00	15.04	18.41	17.25	15.50	17.69
0.18	0.11	0.01	0.73	0.01	0.033	0.27	0.23	0.30	0.21	0.20	0.16	0.20
0.18	0.23	0.04	0.86	0.01	1.74	15.54	14.95	18.62	12.04	13.23	11.76	12.59
0.35	0.09	0.39	0.59	0.10	0.14	0.77	2.00	01.99	0.84	01.63	01.81	01.34
0.90	0.80	0.86	0.27	0.25	0.12	0.38	0.34	0.37	0.36	0.31	0.39	0.21
0.91	0.27	0.49	0.89	0.33	0.083	0.120	0.106	0.083	0.107	0.083	0.076	0.072
0.32	0.02	0.04	0.78	0.01	0.52	2.91	02.57	01.17	03.67	04.45	02.68	03.75
0.26	0.13	0.20	0.89	0.21	6.64	93.98	90.45	85.69	105.26	90.01	92.83	96.81
0.65	0.22	0.77	0.09	0.25	0.010	0.076	0.091	0.081	0.069	0.071	0.085	0.093
						(Dry Matter Loss, %) اتلاف ماده خشک، درصد						
						pH						
						(Flieg's Score) شاخص فلیگ						
						(Visual Evaluation Score) امتیاز ارزیابی ظاهری						
						Ammonia, % of dry درصد از ماده خشک						
						(Ammonia, percent of protein) آمونیاک، درصد از پروتئین						
						استات، درصد (Acetate, %)						
						پروپیونات، درصد (Propionate, %)						
						بوتیرات، درصد (Butyrate, %)						
						لاکتات، درصد (Lactate, %)						
						(Gas production, ml) تولید گاز، میلی لیتر						
						سرعت تولید گاز، درصد در ساعت (Gas production rate, % /h)						

تولید گاز، میلی‌لیتر (Gas production, ml) 96.81
 سرعت تولید گاز، درصد در ساعت (Gas production rate, % /h) 0.093
 لاکتات، درصد (Lactate, %) 03.75
 بوتیرات، درصد (Butyrate, %) 0.072
 پروپیونات، درصد (Propionate, %) 0.21
 استات، درصد (Acetate, %) 01.34
 آمونیاک، درصد از پروتئین (Ammonia, percent of protein) 12.59
 آمونیاک، درصد از ماده خشک (Ammonia, % of dry) 0.20
 امتیاز ارزیابی ظاهری (Visual Evaluation Score) 17.69
 شاخص فلیگ (Flieg's Score) 84.15
 pH 4.21
 اتلاف ماده خشک، درصد (Dry Matter Loss, %) 30.23

^۱فاصله از دیواره برای سه بخش به ترتیب ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ سانتی‌متر بود (GS100، GS200، GS300 و TS100، TS200، TS300 برای لایه برزنت).

^۱The distance from the silo wall for the three sections was 100, 200, and 300 cm, respectively (GS100, GS200, and GS300 for the green mesh sheet, and TS100, TS200, and TS300 for the tarpaulin sheet).

درصد استات، پروپیونات و بوتیرات تحت تأثیر نوع پوشش در فواصل متفاوت از دیواره سیلو قرار نگرفتند ($P > 0/05$)؛ اما درصد لاکتات در نمونه‌های سیلاژ Ces نسبت به GS بالاتر بود ($3/75$) در برابر $2/22$ درصد؛ ($P = 0/01$)، اما تفاوتی در نمونه‌های مرکزی و پوشش TS ($3/24$ درصد) مشاهده نشد ($P = 0/78$). درصد لاکتات در فواصل 100 ، 200 سانتی‌متر از دیواره سیلو در سیستم پوشش TS در مقایسه با GS بالاتر بود ($P < 0/05$)؛ اما نوع پوشش درصد لاکتات را در فاصله 300 سانتی‌متری از دیواره تحت تأثیر قرار نداد ($P > 0/05$). تولید گاز و سرعت تولید گاز تحت تأثیر نوع پوشش در فواصل متفاوت از دیواره در سیلوی خندقی قرار نگرفتند ($P > 0/05$). یافته‌های سیلوهای بانکری: اثر نوع پوشش در سیلوهای بانکری بر ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت در جدول ۵ آورده شده است. درصد ماده خشک سیلاژ ذرت در نمونه‌های Ces نسبت به GS و TS بالاتر بود ($24/97$ در برابر $18/91$ و $20/77$ ؛ $P = 0/01$). درصد ماده خشک در TS300 نسبت به GS300 بالاتر بود ($22/61$ در برابر $19/81$ درصد؛ $P = 0/03$)؛ اما تفاوتی در درصد ماده خشک نمونه‌ها در فواصل 100 و 200 سانتی‌متری از دیواره در سیستم پوشش GS و TS مشاهده نشد ($P > 0/05$). پروتئین خام، عصاره اتری و الیاف حاصل از شوینده اسیدی تحت تأثیر نوع پوشش قرار نگرفتند ($P > 0/05$). الیاف حاصل از شوینده خنثی در نمونه‌های سیلاژ حاصل از پوشش GS به‌طور معنی‌داری در مقایسه با نمونه مرکزی بالاتر بود ($58/53$ در برابر $50/87$ درصدی از ماده خشک؛ $P = 0/01$)، اما بین دو نوع پوشش GS و TS در فواصل متفاوت از دیواره تفاوتی بین الیاف حاصل از شوینده خنثی مشاهده نشد ($P > 0/05$). درصد خاکستر در نمونه‌های سیلو حاصل از پوشش GS در فواصل متفاوت از دیواره در مقایسه با TS و نمونه‌های Ces بالاتر بود ($P < 0/05$ ؛ جدول ۵).

شاخص فلیگ در Ces نسبت به GS بالاتر بود ($84/15$ در برابر $39/53$ ؛ $P = 0/01$) و اما تفاوتی با TS ($75/28$) نداشت ($P = 0/21$). شاخص فلیگ را در فواصل 100 و 200 سانتی‌متر از دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به GS بیش‌تر بود ($P < 0/05$). همچنین شاخص فلیگ در نمونه‌های TS300 نسبت به GS300 تمایل به افزایش داشت ($P > 0/05$). امتیاز ارزیابی ظاهری در Ces نسبت به TS و GS بالاتر بود ($17/69$ در برابر $17/05$ در برابر $15/81$ ؛ $P < 0/05$). نوع پوشش امتیاز ارزیابی ظاهری را در فاصله 100 سانتی‌متر از دیواره سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P > 0/05$)؛ اما امتیاز ارزیابی ظاهری سیلو در فواصل 200 و 300 سانتی‌متر از دیواره در پوشش TS نسبت به GS بالاتر بود ($P < 0/05$). غلظت آمونیاک (درصد از ماده خشک) در نمونه‌های سیلاژ Ces با نمونه‌های سیلاژ TS مشابه بود ($0/20$ در برابر $0/19$ ؛ $P = 0/73$)، اما درصد آمونیاک (درصد از ماده خشک) در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود ($0/28$ در برابر $0/20$ ؛ $P = 0/01$). درصد آمونیاک (درصد از ماده خشک) در فواصل 200 و 300 سانتی‌متر از دیواره سیلو در پوشش TS با پوشش GS مشابه بود ($P > 0/05$)؛ اما درصد آمونیاک (درصد از ماده خشک) در فاصله 100 سانتی‌متری از دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به GS پایین‌تر بود ($P = 0/01$). آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در نمونه‌های سیلاژ Ces با نمونه‌های سیلاژ TS مشابه بود ($12/59$ در برابر $12/34$ ؛ $P = 0/86$)، اما درصد آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود ($16/37$ در برابر $12/59$ ؛ $P = 0/01$). درصد آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در فواصل 200 و 300 سانتی‌متر از دیواره سیلو در پوشش TS با پوشش GS مشابه بود ($P > 0/05$)؛ اما درصد آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در فاصله 100 سانتی‌متری از دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به GS پایین‌تر بود ($P = 0/04$).

جدول ۵. اثر نوع پوشش بر ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت در سیلوی بانکری (درصد از ماده خشک)

Table 5. Effect of cover type on the chemical composition of Corn Silage in Bunker Silo (% of Dry Matter)

تیمارهای آزمایشی ^۱ (Experimental treatments)													
Contrast, P-value													
GS300 vs. TS300	GS200 vs. TS200	GS100 vs. TS100	Ces vs. TS	Ces vs. GS	SE	GS300	GS200	GS100	TS300	TS200	TS100	Ces	صفات
0.03	0.49	0.15	0.01	0.01	0.91	19.81	19.65	17.28	22.66	20.55	19.16	24.97	ماده خشک (Dry matter)
0.19	0.27	0.83	0.70	0.77	0.36	8.49	8.07	8.17	8.61	7.84	8.28	8.16	پروتئین خام (Crude protein)
0.94	0.43	0.20	0.23	0.97	0.05	3.74	3.75	3.69	7.73	3.71	3.79	3.70	عصاره اتری (Ether extract)
0.37	0.17	0.56	0.28	0.83	1.79	34.95	36.99	43.39	32.72	32.23	34.82	36.91	الیاف حاصل از شونده اسیدی (Neutral detergent fiber)
0.38	0.68	0.36	0.06	0.01	3.05	55.90	59.19	60.75	52.20	57.55	56.92	50.87	الیاف حاصل از شونده خنثی (Acid detergent fiber)
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	6.83	7.22	7.90	6.01	6.26	6.68	5.80	خاکستر (Ash)

۱ فاصله از دیواره برای سه بخش به ترتیب ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی متر بود (GS100، GS200، GS300 برای لایه پلاستیک توری و TS100، TS200، TS300 برای لایه برزنت).
 1 The distance from the silo wall for the three sections was 100, 200, and 300 cm, respectively (GS100, GS200, and GS300 for the green mesh sheet, and TS100, TS200, and TS300 for the tarpaulin sheet).

کیفیت و پروفایل تخمیر سیلاژ ذرت در سیلوی

بانکری: اثر نوع پوشش بر کیفیت سیلاژ ذرت در سیلوهای بانکری در جدول ۶ آورده شده است. درصد اتلاف ماده خشک در Ces نسبت به GS و TS پایین‌تر بود (۲۵/۷۰ در برابر ۳۸/۸۷ و ۳۷/۱۷؛ $P=0/01$). نوع پوشش درصد اتلاف ماده خشک را در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$)؛ اما درصد اتلاف ماده خشک سیلو در TS300 نسبت به GS300 تمایل به کاهش داشت ($P=0/08$). pH سیلاژ ذرت در Ces نسبت به GS پایین‌تر بود (۵/۱۰ در برابر ۳/۸۸؛ $P=0/01$) اما تفاوتی با TS نداشت (۳/۵۱ در برابر ۳/۸۸؛ $P=0/14$). pH سیلو در فواصل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در سیستم TS نسبت به سیستم GS پایین‌تر بود ($P<0/05$).

شاخص فلیگ در نمونه‌های سیلاژ Ces نسبت به GS بالاتر بود (۹۴/۰۳ در برابر ۴۶/۷۸؛ $P=0/02$)، اما تفاوتی با TS نداشت (۹۴/۰۳ در برابر ۹۲/۳۵؛ $P=0/78$). شاخص فلیگ را در فاصله ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به پوشش GS بالاتر بود ($P<0/05$). امتیاز ارزیابی ظاهری در Ces (۱۷/۹۴) نسبت به TS (۰/۰۱؛ ۱۵/۴۴) ($P=0/01$) و GS بالاتر بود (۱۴/۴۹؛ ۰/۰۱ = P). نوع پوشش امتیاز ارزیابی ظاهری را در فواصل ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$)؛ اما امتیاز ارزیابی ظاهری نمونه‌های سیلاژ در ۱۰۰ سانتی‌متری نسبت به دیواره در سیستم پوشش TS در مقایسه با GS بالاتر بود ($P=0/01$).

درصد آمونیاک (درصد از ماده خشک) در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود (۰/۳۰ در برابر ۰/۲۳؛ $P=0/01$). همچنین

درصد آمونیاک (درصد از ماده خشک) در فاصله ۱۰۰ ($P=0/08$) سانتی‌متر از دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به پوشش GS تمایل به کاهش داشت. درصد آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود (۱۷/۳۰ در برابر ۱۲/۷۴؛ $P=0/01$). غلظت آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در نمونه‌های سیلاژ Ces با نمونه‌های سیلاژ TS مشابه بود (۱۲/۷۴ در برابر ۱۲/۸۸؛ $P=0/93$). درصد آمونیاک (درصد از پروتئین خام) در فواصل ۱۰۰ ($P=0/08$) و ۲۰۰ ($P=0/10$) سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به پوشش GS تمایل به کاهش داشت.

درصد استات در نمونه‌های سیلاژ Ces با نمونه‌های سیلاژ TS تفاوت معنی‌دار نداشت (۱/۶۹ در برابر ۲/۲۵؛ $P=0/12$)، اما درصد استات در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود (۱/۶۹ در برابر ۲/۸۷؛ $P=0/02$). درصد استات در فواصل ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در پوشش TS نسبت به پوشش GS مشابه بود ($P>0/05$). درصد پروپیونات و بوتیرات تحت تأثیر نوع پوشش قرار نگرفتند ($P>0/05$). درصد لاکتات در نمونه‌های سیلاژ Ces نسبت به GS و Ts بالاتر بود (۵/۱۱ در برابر ۳/۲۹ و ۴/۲۴؛ $P<0/05$). درصد لاکتات در فواصل ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر نسبت به دیواره سیلو در سیستم پوشش TS در مقایسه با GS بالاتر بود ($P<0/05$)؛ اما نوع پوشش درصد لاکتات را در فاصله ۳۰۰ سانتی‌متری از دیواره سیلو تحت تأثیر قرار نداد ($P>0/05$). تولید گاز و سرعت تولید گاز تحت تأثیر نوع پوشش در فواصل متفاوت از دیواره در سیلوی بانکری قرار نگرفت ($P>0/05$).

جدول ۶. اثر نوع پوشش بر کیفیت، پروفایل تخمیر و فراسنجهای تولید گاز سیلاژ در سیلوی بانکری

Table 6. Effect of cover type on silage quality, fermentation profile and, gas production parameters in bunker silo

تیمارهای آزمایشی ^۱ (Experimental treatments)														
Contrast, P-value				Ces vs, GS		SE	GS300	GS200	GS100	TS300	TS200	TS100	Ces	صفات
GS300 vs. TS300	GS200 vs. TS200	GS100 vs. TS100	Ces vs. TS											
0.08	0.73	0.57	0.01	0.01	4.06	37.59	34.30	44.72	27.13	36.31	48.09	25.70		اتلاف ماده خشک، درصد (Dry Matter Loss, %)
0.01	0.01	0.04	0.01	0.14	0.20	5.10	5.29	4.90	3.65	3.30	3.58	3.88		pH
0.01	0.01	0.01	0.78	0.02	7.00	53.36	41.81	49.17	79.20	99.41	98.43	94.03		شاخص فلیگ (Flieg's Score)
0.34	0.16	0.01	0.01	0.01	0.37	14.83	14.75	12.61	15.85	15.50	14.58	17.94		امتیاز ارزیابی ظاهری (Visual Evaluation Score)
0.18	0.11	0.08	0.88	0.01	0.028	0.28	0.33	0.31	0.21	0.24	0.23	0.23		آمونیاک، درصد از ماده خشک (Ammonia, % of dry matter)
0.06	0.10	0.09	0.93	0.01	1.59	17.36	18.07	18.39	11.92	13.34	13.38	12.74		آمونیاک، درصد از پروتئین (Ammonia, % of CP)
0.61	0.54	0.60	0.12	0.02	0.38	2.53	2.87	3.22	1.74	2.52	2.50	1.69		استات، درصد (Acetate, %)
0.32	0.11	0.38	0.83	0.63	0.064	0.41	0.57	0.55	0.51	0.43	0.47	0.50		پروپیونات، درصد (Propionate, %)
0.81	0.83	0.32	0.59	0.79	0.039	0.11	0.17	0.18	0.11	0.14	0.12	0.13		بوترات، درصد (Butyrate, %)
0.24	0.01	0.04	0.01	0.04	0.40	4.40	3.09	2.21	5.01	4.43	3.29	5.11		لاکتات، درصد (Lactate, %)
0.13	0.71	0.15	0.54	0.64	6.87	99.40	114.71	92.66	83.40	118.56	107.30	99.48		تولید گاز، میلی لیتر (Gas production, ml)
0.35	0.20	0.97	0.93	0.83	0.0075	0.086	0.064	0.071	0.075	0.078	0.071	0.075		سرعت تولید گاز، درصد در ساعت (Gas production rate, % /h)

۱ فاصله از دیواره برای سه بخش به ترتیب ۲۰۰، ۳۰۰ سانتی متر بود (GS100، GS200 و GS300 برای لایه پلاستیک توری و TS200، TS300 برای لایه برزنت).

1 The distance from the silo wall for the three sections was 100, 200, and 300 cm, respectively (GS100, GS200, and GS300 for the green mesh sheet, and TS100, TS200, and TS300 for the tarpaulin sheet).

پوشاندن یکی از راه‌های مؤثر برای کاهش فساد سیلو و پیشگیری از نفوذ اکسیژن به توده سیلاژ طی ذخیره‌سازی و برداشت است (Borreani و همکاران، ۲۰۱۸). اگرچه لایه‌های پلی‌اتیلن سنگین رایج‌ترین روش مورداستفاده برای محافظت از سیلو در نزدیکی سطح بوده است (Oelberg و همکاران، ۱۹۸۳)، اما میزان حفاظت فراهم‌شده توسط آن بسیار متغیر است و اغلب در طول ذخیره‌سازی تغییر می‌کند (Savoie و ۱۹۸۸). اهمیت پوشش برزنت برای توزیع یکنواخت وزن و همچنین محافظت از آسیب‌های فیزیکی و اشعه ماوراءبنفش به ورق پلاستیکی روشن‌شده است (Borreani و همکاران، ۲۰۱۸). در یک نظرسنجی، Ruppel (۱۹۹۳) نظر مدیران مزرعه را برای اهمیت شش شیوه خاص مدیریت سیلوی بانگری (خرد کردن، مواد افزودنی، پر کردن، بسته‌بندی، پوشاندن و تغذیه) در تعیین کیفیت سیلاژ یونجه ارزیابی کرد. اغلب مزرعه‌داران پوشاندن را به‌عنوان اولین یا دومین روش مهم ارزیابی کردند. تولیدکنندگانی که پوشش را مهم‌ترین روش ارزیابی کردند به‌طور متوسط دو برابر تعداد لاستیک در هر فوت مربع برای سنگین کردن ورق پلاستیکی در مقایسه با سایر مدیران مزرعه قراردادند.

فساد هوازی یک مشکل عمده برای تولیدکنندگان سیلاژ است زیرا نمی‌توان کاری برای جلوگیری از فساد هوازی پس از شروع آن انجام داد (Woolford، ۱۹۹۰؛ Honig و Woolford، ۱۹۸۰). به نظر می‌رسد استفاده از TS به‌عنوان یک پوشش محافظتی در هر دو ساختمان سیلو با کاهش ورود اکسیژن کارآمدتر از GS است؛ به‌طوری‌که نمونه‌های TS دارای pH، اتلاف ماده خشک، آمونیاک و اسیدلاکتیک مشابه با نمونه‌های مرکزی بودند. درحالی‌که در نمونه‌های GS، pH، اتلاف ماده خشک و آمونیاک بالاتر و اسیدلاکتیک کمتری در مقایسه با نمونه‌های مرکزی

داشتند (جدول ۳ و ۶). تثبیت pH در محدوده ۴ یا کمتر، در صورتی‌که گیاه دارای میزان کافی از کربوهیدرات‌های محلول باشد، نشان‌دهنده توقف فعالیت‌های تخمیری و پایداری سیلاژ است (Church، ۱۹۸۴). در نتیجه تولید اسیدها و کاهش pH سیلاژ، رشد میکروارگانیسم‌های فاسدکننده سیلو متوقف می‌شود (Kung، ۲۰۰۰). کاهش در pH احتمالاً به دلیل غالب شدن جمعیت باکتری تولیدکننده اسیدلاکتیک در سیلاژ در مراحل اولیه سیلو کردن در پاسخ به کاهش اکسیژن است. علاوه بر آن فساد هوازی منجر به اتلاف زیادی از مواد مغذی، در درجه اول قندهای محلول می‌شود که به آب و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شوند (Honig و Woolford، ۱۹۸۰). که منجر به تولید مقدار زیادی گرما همراه با افزایش آمونیاک و pH می‌گردد. افزایش pH را می‌توان به تجزیه اسیدهای چرب فرار، مانند لاکتات و استات، تولیدشده در طی سیلو کردن نیز نسبت داد (Honig و Woolford، ۱۹۸۰؛ Lowes و همکاران، ۲۰۰۰). در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش TS با ایجاد یک مانع مؤثر در برابر ورود اکسیژن، نقش مهمی در حفظ کیفیت سیلاژ و جلوگیری از بروز فساد هوازی ایفا می‌کند. در پژوهش حاضر، پوشش TS موجب کاهش pH، کاهش اتلاف ماده خشک و محدودیت در تولید آمونیاک شد. این عوامل به‌همراه حفظ سطح بالاتر اسیدلاکتیک به نظر می‌رسد شرایط پایداری برای سیلاژ فراهم کردند. در راستا با نتایج پژوهش حاضر، Parra و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که سیلوهای پوشانده شده با یک پوشش دولایه (لایه اتیلن-وینیل الکل بعلاوه یک پوشش ضد اشعه ماورابنفش) در مقایسه با پوشش پلی‌اتیلن یک لایه حاوی سطوح پایین‌تری آمونیاک-نیترژن و سطوح بالاتری از اسید لاکتیک بودند.

و اسیدهای آمینه هستند که در نهایت منجر به افزایش آمونیاک در سیلاژ می‌شوند؛ بنابراین، نتایج به دست آمده بیانگر آن است که احتمالاً استفاده از پوشش TS با کاهش بروز شرایط تخمیر کلستریدیایی، نقش مهمی در کنترل تولید آمونیاک و حفظ کیفیت پروتئینی سیلاژ ایفا می‌کند.

در هر دو ساختمان سیلوها، درصد اتلاف ماده خشک در نمونه‌های مرکزی (Ces) به طور معنی‌داری کمتر از پوشش GS بود ($P < 0.05$)؛ اما با پوشش TS تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳ و ۶). در سیلوهای خندقی، در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از دیواره سیلو، اتلاف ماده خشک در پوشش GS نسبت به TS بیشتر بود (۵۱/۲۳ در برابر ۴۰/۲۲ درصد). بر اساس این نتایج، استفاده از لایه برزنت (TS) به‌ویژه در نواحی نزدیک به دیواره‌ها که احتمال نفوذ اکسیژن و وقوع تخمیر ناخواسته بیشتر است، منجر به کاهش اتلاف ماده خشک گردید. کاهش اتلاف ماده خشک در پوشش TS را می‌توان ناشی از محدودیت شدید نفوذ اکسیژن به داخل توده سیلاژ دانست که منجر به محدود شدن رشد میکروارگانیسم‌های هوازی و کاهش تجزیه مواد آلی، به‌ویژه کربوهیدرات‌های محلول، می‌گردد.

مطالعات پیشین نیز یافته‌های مشابهی را گزارش کرده‌اند. Ashbell و Lisker (۱۹۸۸) در شرایط نیمه گرمسیری اتلاف ماده خشک در لایه‌های سطحی سیلاژ ذرت را بین ۱۰/۲ تا ۳۵/۸ درصد گزارش کردند که نسبت به نتایج حاضر پایین‌تر بود، امری که می‌تواند به دلیل رطوبت بالای ذرت در زمان برداشت در این مطالعه باشد، بنابراین، اتلاف ماده خشک در مطالعه حاضر در محدوده سیلوی ذرت به‌خوبی انبارشده قرار نمی‌گیرد (Johnson و همکاران، ۲۰۰۲؛ Ashbell و Lisker، ۱۹۸۸؛ Berger و Bolsen، ۲۰۰۶) نیز نشان دادند که در سیلوهای فاقد پوشش،

در پژوهش حاضر نمونه‌های پوشش GS در هر دو ساختمان سیلو در مقایسه با نمونه‌های مرکزی دارای درصد الیاف حاصل از شوینده خنثی بالاتری بودند، اما تفاوتی بین نمونه‌های مرکزی و نمونه‌ها در پوشش TS مشاهده نشد (جدول ۲ و ۵). در ساختمان سیلوی بانکری، سیلاژ ذرت در پوشش GS در مقایسه با TS منجر به افزایش درصد خاکستر در فواصل متفاوت از دیواره گردید (جدول ۵)، در حالی که در سیلوهای خندقی درصد خاکستر در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از دیواره، درصد خاکستر در نمونه‌های GS در مقایسه با نمونه‌های TS بالاتر بود (جدول ۲). مطابق با Rooke و Hatfield (۲۰۰۳) درصد بیشتر افزایش الیاف حاصل از شوینده خنثی در مطالعه حاضر ممکن است به دلیل فعالیت مخمرها و قارچ باشد. این ارگانیسم‌ها کربوهیدرات‌های غیر فیبری را تجزیه می‌کنند و در نتیجه درصد کربوهیدرات‌های فیبری افزایش می‌یابد. در هر دو نوع سیلو (خندقی و بانکری)، نمونه‌های سیلاژ پوشش TS از نظر درصد آمونیاک (بر اساس ماده خشک و پروتئین خام) مقادیر مشابهی با نمونه‌های مرکزی (Ces) داشتند، در حالی که مقادیر متناظر در سیلاژهای تحت پوشش GS به‌طور معنی‌داری بالاتر بود. در سیلوی خندقی، درصد آمونیاک (بر اساس ماده خشک) در فاصله ۱۰۰ سانتی‌متری از دیواره سیلو در پوشش TS به‌طور معنی‌داری کمتر از پوشش GS بود ($P = 0.01$) هرچند در فواصل ۲۰۰ و ۳۰۰ سانتی‌متری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. این افزایش در غلظت آمونیاک در نمونه‌های GS را می‌توان با بروز تخمیر کلستریدیایی مرتبط دانست، چراکه این نوع تخمیر معمولاً با افزایش pH همراه است که موجب فراهم شدن شرایط برای رشد میکروارگانیسم‌های هوازی می‌شود (Driehuis و Oude Elferink، ۲۰۰۰). افزون بر این، برخی گونه‌های کلستریدیایی قادر به تجزیه پروتئین‌ها

اتلاف ماده خشک در لایه‌های بالایی می‌تواند به ۳۶ تا ۵۲ درصد برسد، درحالی‌که استفاده از پوشش‌های پلی اتیلن آن را به ۱۴ تا ۲۸ درصد کاهش می‌دهد. Parra و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که سیلوهای پوشانده شده با یک پوشش دولایه (لایه اتیلن-وینیل الکل بعلاوه یک پوشش ضد اشعه ماورابنفش) در مقایسه با پوشش پلی اتیلن دارای pH، اسید استیک، و اتلاف ماده خشک پایین تری در لایه بالایی سیلاژ ذرت بودند. یافته‌های Bernardes و همکاران (۲۰۱۲) نیز مؤید آن است که استفاده از پوشش‌های دولایه با نفوذناپذیری بالا به اکسیژن (از جنس پلی اتیلن و پلی امید) اتلاف ماده خشک را به‌طور قابل توجهی کاهش داده و آن را به ترتیب به ۸/۲ و ۱۳/۸ درصد رسانده است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که میزان اتلاف ماده خشک در سیلاژ ذرت ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های فیزیکی و نفوذپذیری پوشش دارد، به‌ویژه میزان عبور اکسیژن. پوشش‌های نفوذناپذیر (TS) با ایجاد محیط بی‌هوازی پایدار، فرآیند تخمیر را به نفع میکروارگانیسم‌های مفید (نظیر باکتری‌های اسیدلاکتیک) هدایت کرده و از رشد عوامل فسادزا جلوگیری می‌کنند که این امر کاهش معنی‌دار pH و بهبود کیفیت سیلاژ را نیز به دنبال دارد که با اثر استفاده از پوشش TS بر pH همسو است.

Borreani و همکاران (۲۰۰۷) و Borreani و همکاران (۲۰۱۲) درصد اسیدلاکتیک بالاتر و pH پایین‌تر در نمونه‌های سیلاژ سطحی پوشیده شده با یک عایق نفوذناپذیر گزارش کردند. در مطالعه حاضر در راستا با کاهش pH و افزایش اسیدلاکتیک، شاخص فلیگ و ارزیابی ظاهری نمونه‌های سیلاژ زیر لایه برزنت (TS) در فواصل متفاوت از دیواره سیلو بهبود یافت. McDonell (۲۰۰۸)، با مقایسه سیلاژهای ذخیره شده در زیرپوشش‌های مختلف، گزارش داد که pH سیلاژ نزدیک به دیواره در زیر یک‌لایه پلی اتیلن

بالاترین است و با افزایش فاصله از دیواره بیشتر کاهش می‌یابد، درحالی‌که pH سیلاژ پوشش داده شده با یک عایق نفوذناپذیر به اکسیژن کمتر است و تحت تأثیر نمونه‌برداری در عرض‌های مختلف قرار نمی‌گیرد. در مطالعه حاضر نمونه‌های سیلاژ TS درصد استات مشابه با نمونه‌های سیلاژ Ces داشتند؛ اما درصد استات در نمونه‌های سیلاژ GS نسبت به نمونه‌های سیلاژ Ces بالاتر بود. احتمالاً عایق GS توانایی کمتری در پیش‌گیری از ورود هوا به توده سیلاژ دارد زیرا هوا متابولیسم برخی از باکتری‌های اسیدلاکتیک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Condon، ۱۹۸۷) و منجر به کاهش تولید اسیدلاکتیک شده است (Kim و Adesogan، ۲۰۰۶). افزایش فعالیت انتروباکتری‌ها^۵ و تخمیر هترولاکتیک نیز می‌تواند در سیلاژهایی که با تأخیر فشرده و یا عایق می‌شوند مشاهده شود (Weiss و همکاران، ۲۰۱۶؛ Mills و Kung، ۲۰۰۲) که منجر به افزایش غلظت اسید استیک می‌شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از پوشش برزنتی (TS) به‌عنوان یک عایق، به‌ویژه در نواحی کناری سیلو، منجر به کاهش اتلاف ماده خشک در مقایسه با توری مشبک (GS) شد. این تفاوت احتمالاً ناشی از بهبود شرایط تخمیری در سیلاژهای تحت پوشش TS است، چرا که مقادیر بالاتر اسیدلاکتیک و pH پایین‌تر در این نمونه‌ها نسبت به GS مشاهده شد. به نظر می‌رسد استفاده از TS با ایجاد شرایط بی‌هوازی پایدار در لایه‌های سطحی، از طریق اعمال فشار یکنواخت بر سطح سیلاژ، جلوگیری از ایجاد موج در سطح پوشش و کاهش نفوذ اکسیژن، موجب تولید سیلاژ باکیفیتی مشابه نمونه‌های مرکزی سیلو شده است.

⁵ Enterobacteria خانواده باکتری‌های گرم منفی

1. Adesogan, A.T. (2002). A critical evaluation of selected nutritive value methods. In Proc. of the 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium.
2. Allen, M.S., Coors, J.G., & Roth, G.W. (2003). Corn silage. In Buxton, D.R., Muck, R.E., & Harrison, H.J. (Eds.), *Silage Science and Technology* (pp. 547–608). ASA, CSA, and SSSA, Madison, WI.
3. AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis* (15th ed.). AOAC International, Arlington, VA.
4. Ashbell, G., & Lisker, N. (1988). Aerobic deterioration in maize silage stored in a bunker silos under farm conditions in a subtropical climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 45: 307–315.
5. Ashbell, G., & Kashanchi, Y. (1987). In silo losses from wheat ensiling in bunker silos in subtropical climate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 40: 95–103.
6. Bennett, O.L., & Doss, B.O. (1963). Effects of soil moisture requirements on yield and evapotranspiration for cool-season perennial forage species. *Agronomy Journal*, 55(3): 275–278.
7. Berger, L.L., & Bolsen, K.K. (2006). Sealing strategies for bunker silos and drive-over piles. In Proc. *Silage for Dairy Farms: Growing, Harvesting, Storing, and Feeding* (pp. 1–18). NRAES 181, Ithaca, NY.
8. Bernardes, T.F., Nussio, L.G., & Amaral, R.C. (2012). Top spoilage losses in maize silage sealed with plastic films with different permeabilities to oxygen. *Grass and Forage Science*, 67: 34–42.
9. Borreani, G., & Tabacco, E. (2012). Effect of silo management factors on aerobic stability and extent of spoilage in farm maize silages. In Kuoppala, K., Rinne, M., & Vanhatalo, A. (Eds.), *16th International Silage Conference* (pp. 71–72). MTT Agrifood Research Finland, Hämeenlinna, Finland.
10. Borreani, G., Tabacco, E., & Cavallarin, L. (2007). A new oxygen barrier film reduces aerobic deterioration in farm-scale corn silage. *Journal of Dairy Science*, 90: 4701–4706.
11. Borreani, G., Tabacco, E., Schmidt, R., Holmes, B., & Muck, R. (2018). Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952–3979.
12. Broderick, G.A., & Kang, J.H. (1980). Automated simultaneous determination of ammonia and total amino acids in ruminal fluid and in vitro media. *Journal of Dairy Science*, 63: 64–75.
13. Church, D.C. (1984). *Livestock feeds and feeding* (2nd ed.). O & B Books, Inc.
14. Condon, S. (1987). Responses of lactic acid bacteria to oxygen. *FEMS Microbiol. Lett.*, 46: 269–280.
15. Driehuis, F., & Oude Elferink, S.J.W.H. (2000). The impact of the quality of silage on animal health and food safety: a review. *Veterinary Quarterly*, 22: 212–217.
16. Ferraretto, L., Shaver, R., & Luck, B. (2018). Silage review: Recent advances and future technologies for whole-plant and fractionated corn silage harvesting. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3937–3951.
17. Gerlach, K., Roß, F., Weiß, K., Büscher, W., & Südekum, K.H. (2013). Changes in maize silage fermentation products during aerobic deterioration and effects on dry matter intake by goats. *Agricultural and Food Science*, 22: 168–181.
18. Holmes, B.J., & Muck, R.E. (2007). Packing bunkers and piles to maximize forage preservation. Proc. 6th Int. Dairy Housing Conf. ASABE and Harvest and Storage.
19. Honig, H., & Woolford, M.K. (1980). Changes in silage upon exposure to air. Occasional Symposium - British Grassland Society, 11: 76–87.
20. Johnson, L.M., Harrison, J.H., Davidson, D., Mahanna, W.C., Shinnors, K., & Linder, D. (2002). Corn silage management: Effects of maturity, inoculation, and mechanical processing on pack density and aerobic stability. *Journal of Dairy Science*, 85: 434–444.

21. Kalzendorf, C. (1992). Über die Möglichkeiten einer kombinierten Anwendung von Milchsäurebakterien und Natriumformiat als Silierzusatz. Ph.D. thesis, Humboldt University of Berlin, Germany.
22. Kilic, A. (1986). Silo feed (Instruction, education and application proposals). Bilgehan Press.
23. Kim, S.C., & Adesogan, A.T. (2006). Influence of ensiling temperature, simulated rainfall, and delayed sealing on fermentation characteristics and aerobic stability of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 89: 3122–3132. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72586-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72586-3)
24. Kristensen, N.B., Sloth, K.H., Højberg, O., Spliid, N.H., Jensen, C., & Thøgersen, R. (2010). Effects of microbial inoculants on corn silage fermentation, microbial contents, aerobic stability, and milk production under field conditions. *Journal of Dairy Science*, 93: 3764–3774.
25. Kung, L. (2000). Silage fermentation and additives. Miller Publishing Co., Minnetonka, MN.
26. Lima, L.M., Dos Santos, J.P., Casagrande, D.R., Ávila, C.L.S., Lara, M.S., & Bernardes, T.F. (2017). Lining bunker walls with oxygen barrier film reduces nutrient losses in corn silages. *Journal of Dairy Science*, 100: 4565–4573.
27. Lowes, K.F., Shearman, C.A., Payne, J., MacKenzie, D., Archer, D.B., Merry, R.J., & Gasson, M.J. (2000). Prevention of yeast spoilage in feed and food by yeast mycocin HMK. *Applied and Environmental Microbiology*, March: 1066–1076.
28. Martin, J.H., Leonard, W.H., & Stamp, D.L. (1976). Principles of field crop production. New York: Macmillan Publishing Co., Inc;
29. McDonell, E.E. (2008). An evaluation of methods used to cover bunker silos with oxygen barrier plastic to maintain the nutritive value of silage. Ph.D. thesis, University of Delaware, Newark.
30. Menke, K.H., & Steingass, H. (1988). Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research Development*, 28: 7–12.
31. Mertens, D.R. (2002). Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85: 1217–1240.
32. Mills, J.A., & Kung, L. Jr. (2002). The effect of delayed ensiling and application of a propionic acid-based additive on the fermentation of barley silage. *Journal of Dairy Science*, 85: 1969–1975.
33. Muck, R.E., & Holmes, B.J. (2000). Factors affecting bunker silo densities. *Applied Engineering in Agriculture*, 16: 613–619.
34. Muck, R.E., & Holmes, B.J. (2009). Influence of cover type on silage quality in bunker silos. In Broderick, G.A., Adesogan, A.C., Bocher, L.W., Bolsen, K.K., Contreras-Govea, F.E., Harrison, J.H., & Muck, R.E. (Eds.), *Proc. 15th International Silage Conference* (pp. 277–278). Madison, Wisconsin.
35. Oelberg, T.J., Clark, A.K., McGuffey, R.K., & Schingoethe, D.J. (1983). Evaluation of covering, dry matter, and preservative at ensiling of alfalfa in bunker silos. *Journal of Dairy Science*, 66: 1057.
36. Ørskov, E.R., & McDonald, I. (1979). The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rates of passage. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*, 92: 449–503.
37. Parra, C. S., Bragatto, J. M., Piran Filho, F. A., Silva, S. M. S., Tuzzi, B. F., Jobim, C. C., & Daniel, J. L. P. (2021). Effect of sealing strategy on the feeding value of corn silage for growing dairy heifers. *Journal of Dairy Science*, 104(6), 6792–6802.
38. Rooke, J.A., & Hatfield, R.D. (2003). Biochemistry of ensiling. In *Silage Science and Technology*, 42: 95–139.
39. Ruppel, K.A. (1993). Management of bunker silos: opinions and reality. In *Proc. Silage Production: From Seed to Animal* (pp. 266–273). NRAES Publ. 67, Ithaca, NY.

40. Savoie, P. (1988). Optimization of plastic covers for stack silos. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 41: 65–73.
41. Volden, H. (2011). Feed calculations in NorFor. In *NorFor – The Nordic Feed Evaluation System* (pp. 55–58). Wageningen Academic.
42. Weinberg, Z.G., & Muck, R.E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiology Reviews*, 19: 53–68.
43. Weiss, K., Kroschewski, B., & Auerbach, H. (2016). Effect of air exposure, temperature and additives on fermentation characteristics, yeasts count, aerobic stability and volatile organic compounds in corn silage. *Journal of Dairy Science*, 99: 8053–8069.
44. Wilkinson, J.M., & Davies, D.R. (2013). The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass Forage Science*, 68: 1–19.
45. Woolford, M.K. (1990). The detrimental effect of air on silage. *Journal of Applied Bacteriology*, 68: 101–116.