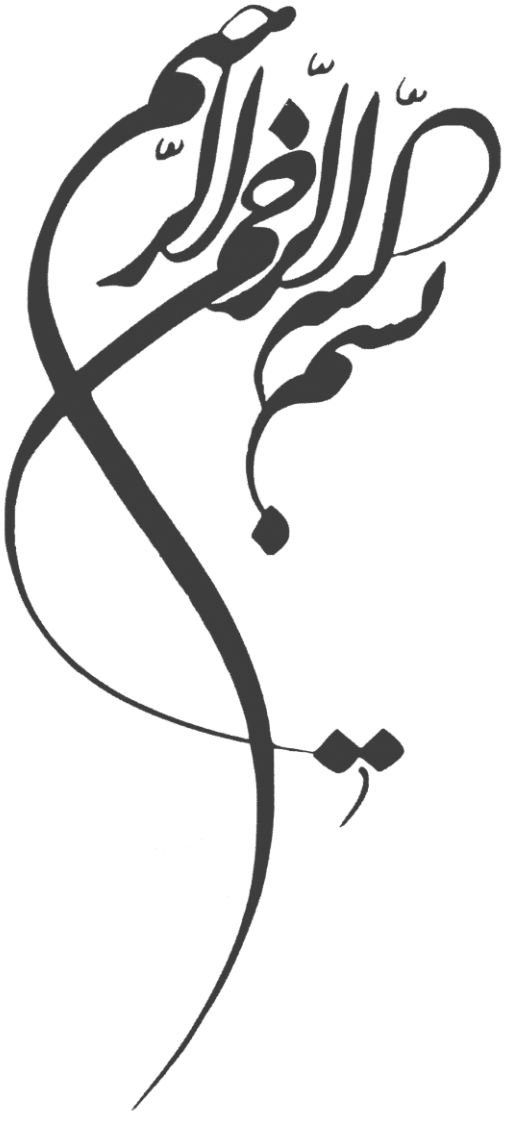
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده شیمی

کاربرد بنتونیت معمولی و فرآوری شده در کاهش پساب سیلاژ ذرت مرطوب و بررسی تاثیر آن‌ها بر ترکیب شیمیایی سیلاژ حاصل

پایان‌نامه کارشناسی ارشد شیمی تجزیه

مرضیه مظاهری تهرانی

استاد راهنما

پروفسور سید حسن قاضی عسکر
دکتر محمد خوروش

۱۳۹۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده شیمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته شیمی تجزیه مرضیه مظاهری تهرانی

تحت عنوان

کاربرد بنتونیت معمولی و فرآوری شده در کاهش پساب سیلاژ ذرت مرطوب و بررسی تاثیر آن‌ها بر ترکیب شیمیایی سیلاژ حاصل

در تاریخ ۱۱/ ۰۲/ ۱۳۹۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر سید حسن قاضی عسکر
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمد خوروش
۳- استاد داور	دکتر تقی خیامیان
۴- استاد داور	دکتر احمد ریاسی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر بیژن نجفی

دیگر نمی توانم سپاس گزار خدا باشم که مرا آفریده،

مرا که اگر نمی بودم نمی توانستم از او بخواهم که نباشم. آندره ژید

خداوند بلند مرتبه را شاکر هستم که توانایی انجام این پایان نامه و اتمام این دوره تحصیلی را به من عطا فرمود. از پدر و مادر عزیزم و اعضای محترم خانواده‌ام که لحظه لحظه سال های عمرم را مدیون آن ها می باشم، تشکر و قدردانی می نمایم. بدون شک، محبتهای آن ها قابل جبران نیست. هم چنین از همسر گرانقدرم که مهربانی هایش پشتوانه بزرگی در زندگی بنده است سپاس گزارم.

رسیدن به این مرتبه علمی را مدیون زحمات دلسوزانه‌ی اساتید محترمی می دانم که در مکتب آن ها کسب علم و دانش نموده‌ام. از زحمات جناب آقای دکتر سید حسن قاضی عسکر، که هم افتخار گذراندن دروسی را با ایشان داشته‌ام و هم راهنمایی این پایان نامه را قبول فرموده و بنده را از نظرات ارزشمند خود بهره مند ساخته اند، سپاس گزاری می نمایم. علاوه بر کسب علم در مکتب ایشان، ایمان و اخلاق حسنه، نظم و ترتیب در کارها، جدیت و تلاش مستمر در انجام همه‌ی امور زندگی و بسیاری از خصیصه های نیک انسانی و اجتماعی را کسب نموده‌ام. از خداوند منان، آرزوی سلامت، سعادت و موفقیت را برای ایشان و خانواده‌ی محترم شان دارم. از زحمات دیگر استاد راهنمایم، جناب آقای دکتر محمد خوروش، که ایشان را به شاگردی خویش قبول فرمودند کمال تشکر را دارم. در طول انجام این پایان نامه همواره از نظرات ارزشمند و راهنمایی های ایشان، گذشته از سایر الطافی که در حق بنده داشتند، بهره مند گردیدم. از خداوند متعال برای ایشان و خانواده محترم شان آرزوی سلامتی و به روزی را دارم.

از داوران گرامی این پایان نامه جناب آقای دکتر تقی خیامیان و جناب آقای دکتر احمد ریاسی که با دقت نظرشان پیشنهادات و تصحیحاتی را به بنده اعلام فرموده اند تشکر و قدردانی می نمایم. از جناب آقای دکتر بیژن نجفی، سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده، که همکاری بسیار مطلوبی را با بنده داشته اند تشکر می نمایم.

از پرسنل محترم آزمایشگاه علوم دامی، به ویژه آقای مهندس خشوعی سپاس گزاری می کنم. هم چنین یاد و خاطره مرحوم آقای فرقانی، مسئول انبار دانشکده شیمی و زحمات بی-شائبه ایشان هرگز از ذهن بنده پاک نخواهد شد.

در پایان، از خانم ها: مهتا موسوی، مائده شفیعیان و هاجر رستگاری که افتخار بزرگ دوستی با ایشان نصیب بنده شده است و از آقایان: رحمانیان، رضوی، حاج ابراهیمی، ظفری، هاشم زاده و بیرانوند، و هم چنین از تمامی دوستان و هم کلاسی های محترم که همواره از بودن در کنارشان احساس شادی و سرافرازی نموده‌ام، کمال تشکر و قدردانی را می نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع
این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به پدر و مادر عزیز

و همسر گرامی‌ام

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت
فهرست جدول‌ها ..... ده
فهرست شکل‌ها ..... یازده
چکیده ۱
فصل اول: بررسی منابع ۲
۱-۱ سیلاژ ۲
۱-۱-۱ تعریف سیلاژ ۲
۱-۱-۲ تاریخچه استفاده از سیلاژ ۳
۱-۱-۳ انواع سیلو ۴
۱-۲ بیوشیمی سیلاژ ۵
۱-۲-۱ فرآیندهای مختلف تهیه سیلاژ ۵
۱-۲-۲ اجزای ساختاری موثر در تهیه سیلاژ ۸
۱-۲-۳ انواع جمعیت میکروبی موجود در سیلاژ ۱۰
۱-۳ سیلاژ ذرت ۱۶
۱-۴ پساب سیلاژ ۱۹
۱-۴-۱ عوامل موثر بر تولید پساب ۱۹
۱-۴-۲ خطرات پساب سیلاژ ۲۱
۱-۴-۳ ترکیبات موجود در پساب سیلاژ ۲۲
۱-۴-۴ روش‌های جلوگیری از تولید پساب ۲۳
۱-۵ جذب‌کننده‌های رطوبت ۲۵
۱-۶ بنتونیت ۲۹
۱-۶-۱ تاریخچه ۲۹
۱-۶-۲ ویژگی‌های ساختاری ۳۰
۱-۶-۳ کاربردهای انواع بنتونیت ۳۳
۱-۶-۴ تورم بنتونیت ۳۵
۱-۶-۵ استفاده از بنتونیت در تهیه سیلاژ ۳۸
۱-۷ تجزیه و تحلیل آماری ۳۸
۱-۸ هدف پژوهش ۴۲
فصل دوم: بخش تجربی ٤٤
۲-۱ تعیین ویژگی‌های جاذب ۴۴
۲-۱-۱ گستره اندازه ذرات: ۴۴
۲-۱-۲ *pH* ۴۵

۲-۱-۳ ظرفیت تبادل کاتیونی ۴۵
۲-۱-۴ حجم تورم ۴۵
۲-۱-۵ آنالیز شیمیایی ۴۶
۲-۱-۶ اندازه ذرات ۴۶
۲-۲ تهیه سیلاژ و نمونه برداری ۴۸
۲-۳ عصاره گیری ۴۸
۲-۴ ماده خشک ۴۹
۲-۵ خاکستر ۴۹
۲-۶ پروتئین خام ۴۹
۲-۷ نیتروژن آمونیاکی ۵۰
۲-۸ کربوهیدرات محلول در آب ۵۰
۲-۹ اندازه‌گیری اسیدهای چرب فرار و اتانول ۵۱
۲-۱۰ اسید لاکتیک ۵۲
فصل سوم: نتایج و بحث ۵۶
۳-۱ ویژگی‌های جاذب ۵۶
۳-۱-۱ حجم تورم ۵۶
۳-۱-۲ ظرفیت تبادل کاتیونی ۵۷
۳-۱-۳ اندازه ذرات ۵۸
۳-۲ محاسبه حد تشخیص ۵۸
۳-۳ رسم منحنی تنظیم ۶۰
۳-۴ بررسی نتایج پساب سیلاژ ۶۲
۳-۵ بررسی ترکیب شیمیایی ۶۷
فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۷۰
۴-۱ نتیجه‌گیری ۷۰
۴-۲ آینده نگری ۷۱
مراجع ۷۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱: علل آلودگی ناشی از مدیریت نامناسب. ۲۰
جدول ۱-۲: نیاز به ***BOD*** برخی منابع آلودگی ۲۲
جدول ۱-۳: موجودی مواد با ارزش تغذیه‌ای در نمونه‌های پساب سیلاژ علف چاودار. ۲۳
جدول ۱-٤: ترکیبات معدنی گروه اسماکتیک‌ها..... ۳۲
جدول ۱-۵: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اسماکتیت‌ها..... ۳۳
جدول ۱-٦: انواع کاربردهای اسماکتیت‌ها. ۳٤
جدول ۱-۷: محاسبات به کار رفته جهت آنالیز واریانس ٤۰
جدول ۱-۸ مقایسه هزینه‌های ناشی از جاذب‌های مختلف به ۵۰ تن سیلاژ..... ٤۳
جدول ۲-۱ فهرست مواد شیمیایی مصرف شده. ۵۵
جدول ۳-۱ گستره اندازه ذرات مختلف..... ۵۷
جدول ۳-۲خصوصیات فیزیکی بنتونیت و هیدروژل..... ۵۸
جدول ۳-۳ آنالیز شیمیایی فرزینال و هیدروژل..... ۵۸
جدول ۳-٤ نتایج حاصل از اندازه‌گیری پساب سیلاژ ذرت با جاذب‌های مختلف. ٦۳
جدول ۳-۵ پارامترهای آماری مربوط به آنالیز پساب..... ٦۳
جدول ۳-٦ ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت بعد از سیلوکردن با جاذب‌های مختلف. ٦۸
جدول ۳-۷ پارامترهای آماری آنالیز آماری ترکیب شیمیایی سیلاژ ذرت..... ٦۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱-۱: فازهای تخمیر طبیعی..... ۱۶
شکل ۱-۲: نمودار معادله باستیمن..... ۲۰
شکل ۱-۳: ساختار هافمن ۳۱
شکل ۱-٤: ساختار لایه‌ای مونت موریلونیت. ۳۲
شکل ۱-۵: تورم درون بلوری بنتونیت توسط آبپوش شدن سطحی. ۳۶
شکل ۱-٦: تورم بنتونیت به شیوه اسمزی..... ۳۷
شکل ۲-۱ پروفایل‌های مربوط به بنتونیت..... ٤٦
شکل ۲-۲ نمودار محدوده اندازه ذرات جاذب هیدروژل..... ٤۷
شکل ۲-۳ تصویر سه بعدی سطح جاذب بنتونیت. ٤۷
شکل ۲-٤ تصویر سه بعدی سطح جاذب هیدروژل..... ٤۷
شکل ۲-۵ نمونه کروماتوگرام ***GC*** (اتانول:۳/۰۲ دقیقه، استیک اسید۷/۳ دقیقه، کروتونیک اسید:۱۱/۲ دقیقه) ۵۲
شکل ۲-٦ نمونه کروماتوگرام مایع (اسیدلاکتیک:۸/۵۲، اسیداستیک:۹/۰۴)..... ۵٤
شکل ۳-۱ حجم تورم..... ۵۷
شکل ۳-۲ منحنی تنظیم اتانول و استیک اسید. ٦۰
شکل ۳-۳ منحنی تنظیم لاکتیک اسید..... ٦۱
شکل ۳-٤ منحنی تنظیم گلوکز..... ٦۱
شکل ۳-۵ نمودار کاهش پساب در مقایسه با شاهد برای سیلاژل..... ٦٤
شکل ۳-٦ نمودار کاهش پساب توسط هیدروژل. ٦٤
شکل ۳-۷ نمودار کاهش پساب سیلاژ توسط فرزینال..... ٦۵
شکل ۳-۸ نمودار کاهش پساب در مقایسه با شاهد برای سیلاژل..... ٦۵
شکل ۳-۹ نمودار کاهش پساب توسط هیدروژل. ٦٦
شکل ۳-۱۰ نمودار کاهش پساب سیلاژ توسط فرزینال..... ٦٦

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، بررسی کاربرد انواع جاذب‌های ارزان قیمت بنتونیت، بر کاهش پساب سیلاژ علوفه ذرت با رطوبت بالا می‌باشد. جاذب‌های مورد استفاده، فرزینال (بنتونیت معمولی)، هیدروژل (بنتونیت فراوری شده با pH معمولی)، سیلاژل (بنتونیت فراوری شده با $pH=4$) می‌باشند. پساب، مایعی است که در طول دوره سیلو کردن از سیلو خارج می‌شود. این مایع به عنوان یک منبع مهم در آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود. پساب سیلاژ، محیط کشت مناسبی جهت رشد میکروارگانیسم‌های هوازی می‌باشد و رشد این موجودات، اکسیژن محلول را سریع‌تر از آنچه که از هوا وارد محلول می‌شود از آن خارج می‌سازد. این پدیده باعث می‌شود که نیازمندی به اکسیژن بیولوژیکی، در پساب سیلاژ بسیار بالا باشد. مقایسه BOD پساب سیلاژ، با دیگر منابع آلوده کننده محیط زیست، اهمیت این بررسی را نشان می‌دهد. از جمله ویژگی‌های جاذب‌های مورد استفاده، قابلیت بالای جذب آب می‌باشد که در مورد بنتونیت فراوری شده این مقدار به ۴۰ برابر جرم خشک بنتونیت رسید. اندازه ذرات در گستره ۱۰ تا ۳۵ نانو متر بود. ظرفیت تبادل کاتیونی اندازه‌گیری شده بالا بود. از لحاظ اقتصادی نیز جاذب‌های مورد استفاده دارای قیمت بسیار پائین می‌باشند. علوفه مورد استفاده جهت تهیه سیلاژ، علوفه ذرت با رطوبت بالا بود. افزودن جاذب‌ها در چهار سطح ۰/۲، ۰/۲۵، ۰/۳ و ۰/۳۵ درصد وزنی-وزنی به سیلو، انجام شد. هر سطح سه بار تکرار شد و یک سطح نیز به عنوان شاهد، بدون افزودنی در نظر گرفته شد. دوره سیلو ۹۰ روزه بود و در طی این دوره، پساب خروجی طی ۶ مرحله اندازه‌گیری شد. مقدار پساب سیلاژ شاهد به دلیل دارا بودن ماده خشک پائین، بالا بوده و در حدود ۱۰۸ گرم بر کیلوگرم علوفه بود. کاهش پساب نسبت به سیلاژ شاهد به ترتیب ۴۶، ۳۱ و ۳۵ درصد، برای سیلاژل، فرزینال و هیدروژل بود. جهت بررسی تاثیر افزودن جاذب‌ها بر پارامترهای تغذیه‌ای، ویژگی‌های تغذیه‌ای سیلاژ حاصل شامل ماده خشک (توسط خشک کردن در گرم خانه)، اسیدیته (اندازه گیری pH عصاره سیلاژ)، خاکستر (کوره الکتریکی)، پروتئین خام (روش کلدال)، نیتروژن آمونیاکی (روش کلدال بدون مرحله هضم)، اتانول (کروماتوگرافی گازی)، اسیدهای چرب فرار (کروماتوگرافی گازی)، لاکتیک اسید (کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا) و کربوهیدرات محلول (اسپکتروفوتومتری) اندازه‌گیری شدند. مقایسه این جاذب‌ها با انواع مشابه از لحاظ اقتصادی، بخوبی تاثیر استفاده از آن‌ها را روشن می‌کند.

کلمات کلیدی: ۱-سیلاژ ۲-پساب ۳-جاذب ۴-بنتونیت.

فصل اول
بررسی منابع

۱-۱ سیلاژ

۱-۱-۱ تعریف سیلاژ

هدف اصلی از حفظ هر محصول زراعی، نگهداری آن در شرایط مطلوب رشد برای استفاده در فصولی است که این محصول وجود ندارد. تهیه علوفه خشک از قدیم به عنوان روشی سنتی جهت نگهداری علوفه مورد استفاده قرار گرفته، اما ضرورت به تعویق افتادن برداشت علوفه تا مرحله بلوغ به منظور دست‌یابی به ماده خشک بیشتر، باعث پائین آمدن قابلیت هضم آن می‌شود[۱]. سیلاژ، ماده‌ای است که توسط تخمیر کنترل شده یک گیاه با رطوبت، تولید می‌شود. سیلو کردن نام این فرایند است و محل انجام آن را سیلو گویند[۱].

نخستین مورد ضروری برای دست‌یابی به یک سیلاژ با کیفیت، حفظ محصول زراعی به وسیله تخمیر طبیعی با دست‌یابی به یک شرایط بی‌هوازی است. در هر قسمتی که اکسیژن برای مدتی با علوفه در تماس باشد، فعالیت‌های میکروبی به صورت هوازی رخ داده و در اثر فساد، مواد به فراورده‌های غیر قابل استفاده و اغلب سمی تبدیل می‌شوند. این میکروارگانیسم‌ها مواد با ارزش غذایی بالا را به فراورده‌هایی که از نظر تغذیه‌ای مطلوب نیستند، تجزیه می‌کنند. متداول‌ترین روش پیشگیری از رشد چنین موجوداتی، افزایش تخمیر لاکتیکی یک سیلاژ می‌تواند از گیاهان متنوعی حاصل شود[۱،۲]. تعدادی از آن‌ها منحصراً به منظور تهیه سیلاژ، کشت می‌شوند. اما

برخی دیگر به دلیل مازاد احتیاج سیلو می‌شوند. ویژگی‌های یک گیاه مطلوب سیلو کردن، شامل برخورداری از سطح مناسب مواد قابل تخمیر به شکل کربوهیدرات‌های قابل حل در آب[1]، ظرفیت بافری نسبتاً پائین، میزان ماده خشک بیش از ۲۰۰ گرم به ازای هر کیلوگرم علوفه می‌باشد[۱].

۱-۱-۲ تاریخچه استفاده از سیلاژ

سیلو کردن علوفه قدمت زیادی دارد، بطوریکه دامداران از هزاره دوم قبل از میلاد با سیلو و کاربرد آن آشنا بودند. بدون شک بیشترین توسعه در شناخت اصول پایه‌ای و اصلاح فرآیندهای تهیه سیلاژ از دهه ۱۹۵۰ به بعد تحت تاثیر گسترش وسیع مکانیزاسیون کشاورزی، دست یابی به ارقام پر محصول زراعی، افزایش تقاضا برای تولیدات دامی، بالارفتن قیمت‌ها و تولیدات دامی صورت گرفت.

کلمه سیلو از واژه یونانی *siros* به معنای گودالی درون زمین برای ذخیره ذرت گرفته شده است [۳]. نقاشی‌های باستانی مربوط به ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد مسیح، که در مصر یافت شده است نشان می‌دهد که مصری‌ها با سیلو کردن، جهت نگهداری و حفظ محصولات زراعی، آشنا بوده‌اند. از نوشته‌های قدیمی که در نواحی مدیترانه یافت شده است، چنین به نظر می‌رسد که غیر قابل نفوذ کردن محل نگهداری علوفه در برابر هوا، یک روش حائز اهمیت برای حفظ محصولات بوده است. بر خلاف این اطلاعات اولیه، سیلو کردن علوفه در بسیاری از نقاط دنیا تا اواخر قرن نوزدهم از گستردگی لازم برخوردار نبوده است. برای اولین بار گریس والد در سال ۱۸۴۲ روش‌های سیلو کردن را در کتابی به چاپ رساند. وی توصیه کرد که گودال‌های مورد استفاده می‌بایست به سرعت با علوفه تازه پر شود و بهتر است که علوفه را به خوبی فشرد و کوبید. به محض پر شدن سیلو سطح آن را نسبت به ورود هوا غیر قابل نفوذ کرد و سطح آن را با خاک پوشانید.بدون شک، یکی از پایه‌گذاران روش‌های مدرن سیلو کردن علوفه تازه، گوفارت کشاورز فرانسوی است که در سال ۱۸۷۷ اولین کتاب را در مورد سیلو کردن علوفه با تجربه‌های شخصی خود در زمینه سیلوی ذرت انتشار داد [۶].

به غیر از دوره‌هایی کوتاه در خلال دو جنگ جهانی، سیلو کردن علوفه تا دهه ۱۹۵۰ مورد توجه عمومی قرار نگرفت. از این تاریخ به بعد به دلیل توسعه مکانیزاسیون و نیاز به افزایش تولیدات دامی و بالارفتن قیمت کنسانتره‌ها، توجه به سیلو کردن گیاهان به عنوان یک خوراک بسیار با کیفیت و جدید برای نشخوارکنندگان مطرح شد.

---

[1] *Water-Soluble Carbohydrate (WSC)*

۱-۱-۳ انواع سیلو

انواع سیلوهایی که برای تخمیر علوفه به کار می‌روند، بسیار متفاوت هستند [۴]. از نظر تجاری انواع سیلو در هفت گروه، طبقه‌بندی می‌شوند: سیلوهای کومه‌ای بدون دیواره نگهدارنده[۱]، سیلوهای برجی[۲]، سیلوهای روزمینی دیواردار[۳]، سیلو با دیواره قابل انعطاف[۴]، سیلوهای خلأئی[۵]، سیلوهای پلاستیکی سوسیسی شکل[۶] و سیلوهای به شکل بسته‌های بزرگ[۷] [۴].

سیلوهای کومه‌ای بدون دیواره نگهدارنده: در این نوع، توده علوفه روی صفحه پلاستیکی که در روی زمین قرار دارد انباشته می‌شود و هنگامی که مقداری کافی علوفه داخل آن قرار گرفت، یک پوشش پلاستیکی دیگر بر روی آن قرار داده می‌شود و لبه‌های آن به خوبی بسته می‌شود تا غیر قابل نفوذ شود.

سیلوی برجی: این نوع سیلو از سیمان، فولاد یا چوب ساخته می‌شود و احتمالاً بهترین روش برای ذخیره سازی است. زیرا سطح تماس علوفه با هوا حداقل است. البته فشار وارده به علوفه در این نوع زیاد است که این می‌تواند باعث مشکل جدی خروج شیرابه‌های حاصل باشد مگر آنکه تمهیدات لازم قبل از سیلو کردن صورت پذیرد.

سیلوهای رو زمینی دیواردار: عموماً این نوع دارای سه دیواره جانبی هستندکه هر یک دو الی سه متر ارتفاع دارند و در زیر سایه‌بان قرار داده می‌شوند تا از ورود هوا به آن‌ها جلوگیری شود. دیواره‌های این نوع سیلو باید به حد کافی مقاوم باشند تا در برابر فشارهای وارده مقاومت کنند. سیلوهای با دیواره‌های قابل انعطاف: این نوع سیلو شبیه سیلوهای دیواردار هستند با این تفاوت که دیواره‌های آن‌ها قابل انعطاف بوده و می‌توانند ارتفاع علوفه را تا هفت متر تحمل کنند.

سیلوهای خلأئی: در این نوع سیلوها شبیه سیلوهای کومه‌ای، علوفه بر سطح پلاستیکی انباشته شده و سطح بالایی نیز با یک لایه دیگر پوشانده می‌شود. جهت اتصال لایه‌ها به یکدیگر به وسیله پمپ خلأ هوای درون آن‌ها تخلیه شده و به یکدیگر می‌چسبند.سیلوهای پلاستیکی سوسیسی شکل: در این نوع، یک لوله استوانه‌ای شکل از جنس پلاستیک، توسط ماشین کشاورزی از علوفه پر می‌شود. قطر این نوع ۲/۵ متر است و طول آن می‌تواند به ۳۰ متر هم برسد.

---

[1] *Stack Without Retaining Walls*
[2] *Tower*
[3] *Bunker*
[4] *Flexible-Walled*
[5] *Vacuum*
[6] *Plastic Sausage*
[7] *Big Bale*

سیلوهای به شکل بسته‌های بزرگ: این سیستم در حال حاضر به صورت گسترده‌ای در حال استفاده است [۵]. این بسته‌ها از جنس نوارهای پلاستیکی هستند که توسط ماشین‌های مخصوصی، علوفه داخل آن‌ها فشرده می‌شود. وزن هر یک از این بسته‌ها بین نیم تا یک تن می‌باشد. بسته‌ها به شکل هرمی روی زمین بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند و در نهایت با یک پوشش پلاستیکی سنگین پوشانده می‌شوند.

۱-۲ بیوشیمی سیلاژ

۱-۲-۱ فرآیندهای مختلف تهیه سیلاژ

در طی مدت قرار داشتن علوفه در سیلو، مقدار اسید تولید شده معمولاً بیشتر از حدی است که از تخمیر به تنهایی کربوهیدارت‌های محلول در آب، انتظار می‌رود. بنابراین حدس زده می‌شود که مواد دیگری غیر از کربوهیدرات‌ها به عنوان مواد قابل تخمیر عمل کنند. اگر چه شناخته شده است که پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه می‌توانند چنین نقشی ایفا کنند، اما تصور می‌شود که کربوهیدرات‌های ساختمانی مهم‌ترین منابع تولید اسید بیشتر در سیلو باشند. اندازه‌گیری دقیق مقدار اتلاف کربوهیدرات‌های محلول در آب ناشی از فعالیت آنزیم‌های گیاهی مشکل است زیرا قندهای اتلافی در فرایند تنفس ممکن است با قندهای حاصل از هیدرولیز کربوهیدرات‌های ساختمانی گیاه از قبیل سلولز و پکتین، جایگزین شوند. هرون[1] و همکاران علوفه اشعه گاما داده شده را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که محتوای کربوهیدرات‌های محلول در آب این علوفه که به مدت ۱۵۳ روز، سیلو شده بود ۶۵ درصد، بیشتر از علوفه اولیه بود [۷]. آن‌ها گزارش کردند که مقداری از این افزایش از هیدرولیز همی سلولز ناشی شده بود و دلیل آن را حضور پنتوزها ذکر کرده‌اند. مک دونالد و همکاران دریافتند که در حدود نیمی از همی سلولز موجود در گیاه، می‌تواند در سیلو تجزیه شود [۸]. آن‌ها دلایل این تجزیه را به این صورت بیان کردند که :

۱- آنزیم‌های همی سلولاز موجود در علوفه،

۲- همی سلولازهای باکتریایی،

۳- هیدرولیز توسط اسیدهای آلی تولید شده در فرایند تخمیر.

وقتی که محصولات در سیلو گذاشته می‌شوند ۳ دسته فرایند گیاهی، میکروبی و شیمیایی فعال می‌شوند .

الف: فرایندهای گیاهی

---

[1] *Heron*

به‌طور طبیعی، گیاهان در هنگام سیلو کردن دارای فعالیت‌های بیولوژیکی می‌باشند و خیلی از آنزیم‌های گیاهی می‌توانند بر کیفیت علوفه مؤثر باشند. سه دسته از فعالیت‌های گیاهی: تنفس، شکسته شدن پروتئین (پروتئولیز) و شکسته شدن همی‌سلولز (فعالیت همی‌سلولاز) در رابطه با کیفیت سیلاژ مهم می‌باشند. تنفس فرایندی است که گیاهان از طریق آن انرژی را برای رشد و نگهداری بدست می‌آورند. قندها ترکیبات اصلی می‌باشند که تنفس می‌شوند. این فرایند همچنین نیازمند اکسیژن است و تولید دی-اکسید کربن، آب و حرارت می‌کند[۹]. تنفس گیاهی در برداشت اکسیژن از سیلو سودمند می‌باشد، چون یک محیط بی‌هوازی را به‌وجود می‌آورد. هرچند، تنفس گسترده نامطلوب است، زیرا باعث کاهش انرژی و قند های قابل تخمیر سیلاژ و افزایش دمای سیلو می‌شود. این مشکلات از مدیریت ضعیف، مانند پرکردن آهسته سیلو و یا نبستن مناسب سیلو ناشی می‌شود. وقتی که محیط سیلو بی‌هوازی می‌باشد، خیلی از سلول‌های گیاه طی چند ساعت پاره و خیلی از آنزیم‌ها شامل پروتئازها (که پروتئین‌ها را می‌شکنند) و همی‌سلولازها (که همی‌سلولز را می‌شکنند) را آزاد می‌کند. ممانعت از فعالیت پروتئازها در لگوم‌ها و خیلی از گراس‌های با پروتئین بالا مهم می‌باشد. نگل و برودریک گزارش کردند که گاوهای شیری تغذیه شده با سیلاژ یونجه‌ای با محتوای پروتئین حقیقی بالاتر، شیر بیشتری را نسبت به گاوهای تغذیه شده با سیلاژ یونجه‌ای با پروتئین پایین‌تر تولید کردند، اگر چه، محتوای نیتروژن کل (پروتئین خام) جیره‌ها مشابه بود. فعالیت پروتئاز با کاهش pH به حدود ۴ کاهش می‌یابد. چون، اکثر فعالیت پروتئازی طی ۲۴ ساعت اولیه در سیلو رخ می‌دهد. به‌استثناء زمانی که از افزودنی‌های اسیدی یا شیمیایی سیلاژ استفاده می‌شود، کنترل پروتئولیز مشکل است. بنظر می‌رسد فعالیت همی‌سلولاز فقط در گراس‌ها مهم می‌باشد. که باعث کاهش فیبر (دیواره سلولی[1]) به میزان ۱-۲٪ در سیلاژ گراس می‌شود. مشابه با پروتئولیز، این فعالیت طی هفته اول نگهداری، به‌سرعت کاهش می‌یابد. هرچند، این فعالیت به pH کمتر حساس است[۱۰،۱۱]

ب: فرایندهای میکروبی

تنوع بالایی در فعالیت میکروارگانیسم‌ها بر محصول سیلو شده وجود دارد. میکروارگانیسم‌های اصلی غیر هوازی در سیلاژ باکتری‌های مولد اسید لاکتیک می‌باشند. این باکتری‌ها شامل ۴ گونه لاکتوباسیل‌ها[2]، پدیوکوکوس‌ها[3]، انتروکوکوس‌ها[4] و لئوکونوستوک‌ها[5] می‌باشند. مشخصه مشترک این‌ها رشد بهتر در شرایط بی-

[1] *Neutral Detergent Fiber*
1 Lactobacillus
2 Pediococcus
3 Enterococcus
4 Leuconostoc

هوازی و تبدیل اولیه قندها به اسید لاکتیک می‌باشد. تخمیر عمده‌ترین مکانیسمی است که از طریق آن pH کاهش پیدا کرده و در نتیجه از رشد باکتری‌های مضر جلوگیری می‌شود[۱۰]. گونه‌ها و سویه‌ها در مواردی مانند ۱) مقدار دیگر تولیدات مانند اسید استیک و اتانول تولید شده، ناشی از رشد بر قندهای مختلف، ۲) تحمل اکسیژن در هنگام رشد و ۳) نوع ترکیباتی که تخمیر می‌کنند، تفاوت دارند. برخی از باکتری‌های مولد اسید لاکتیک به‌خوبی اسیدهای آمینه را به آمونیک و یا به آمین‌ها تخمیر می‌کنند. به‌طور سنتی، باکتری‌های مولد اسید لاکتیک که به‌تنهایی بر روی قندها رشد می‌کنند و فقط اسید لاکتیک (همگن) تولید می‌کنند، مطلوب تر می‌باشند. چون اسید لاکتیک، اسید قوی‌تری نسبت به اسید استیک بوده و اتلاف ماده خشک و انرژی در خیلی از مسیرهای تولید این اسید از مسیرهای تولید اتانول و اسید استیک کمتر است [۱۱].

عمدتاً باکتری‌های غیرهوازی مضر در سیلو کلستریدیوم‌ها می‌باشند. برخی از کلستریدیوم‌ها اسید لاکتیک و قندها را به اسید بوتیریک و برخی از آن‌ها اسیدهای آمینه را به آمونیاک و آمین‌ها تخمیر می‌کنند. این مسیرهای تخمیر دارای اتلاف مهمی در انرژی و ماده خشک می‌باشند. علاوه بر این، کاهش مصرف ماده خشک به سیلاژهای با تخمیر کلستریدیومی مرتبط می‌باشد. رشد کلیستریدیوم‌ها با کاهش pH ممانعت می‌شود. در سیلاژهای معمول در آمریکا با محتوای رطوبت کمتر از ۷۰٪، pH زیر ۵ به‌خوبی رشد کلستریدیوم‌ها را متوقف می‌کند.

دیگر گروه عمده باکتری‌های غیر هوازی انتروباکتری‌ها می‌باشند. که معمولاً در pH زیر ۵ از فعالیتشان ممانعت می‌شود. این باکتری‌ها قندها را عمدتاً به اسید استیک تخمیر کرده و باعث اتلاف بالایی در ماده خشک و انرژی محصول نسبت به باکتری‌های مولد اسید لاکتیک می‌شوند. وقتی که کاهش pH داریم، اسید استیک در pH بالای ۴ به‌عنوان یک بافر برای سیلاژ عمل کرده و درمقابل کاهش بیشتر pH مقاومت می‌کند.

در حضور اکسیژن، میکروب‌های فاسد کننده شامل مخمرها، کپک‌ها، باکتری‌های هوازی مختلف (لیستریا، باکتری‌های اسید استیک و باسیل‌ها) ممکن است بر روی قندهای گیاهی، فراورده های تخمیر و دیگر ترکیبات آزاد شده ناشی از برش یا پارگی سلولی طی برداشت و انبار کردن، رشد کنند. اگر از رشد آن‌ها جلوگیری نشود، این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند از خیلی قسمت‌های قابل هضم علوفه استفاده کنند. کاهش pH به زیر ۵ می‌تواند رشد خیلی از باسیل‌ها را کند و رشد لیستریاها را متوقف کند. هرچند که خیلی از مخمرها، کپک‌ها و باکتری‌های مولد اسید استیک می‌توانند در pH معمول سیلاژ (۴-۵) رشد کنند. برخی از مخمرها و باسیلوس‌ها می‌توانند به‌صورت غیرهوازی نیز رشد و قندها را به اتانول و دیگر فراورده‌ها تخمیر کنند، تا به‌گونه‌ای که فقط با به‌وجود آوردن یک محیط بی‌هوازی از رشدشان جلوگیری شود. فعالیت باکتری‌های مولد اسید استیک، بیشتر با اسید لاکتیک ممانعت می‌شود. رشد مخمرها و باکتری‌های مولد اسید استیک بر روی سیلاژها موجب افزایش pH

می‌شود. هنگامی که pH سیلاژ افزایش یافت، دیگر میکروارگانیسم‌های هوازی می‌توانند به‌سرعت بر روی سوبسترای باقیمانده رشد کنند.

ج: فرایندهای شیمیایی

دو فرایند شیمیایی واکنش میلارد یا قهوه ای شدن و هیدرولیز اسیدی همی‌سلولز، می‌توانند بر کیفیت سیلاژ مؤثر باشند. قندها با اسیدهای آمینه در اثر حرارت بالا واکنش می‌دهند و ملکول‌های بزرگی شکل می‌گیرد، که دارای قابلیت هضم پایینی هستند. سرعت این واکنش شیمیایی کم بوده و وقتی که حرارت زیر ۱۰۰ فارنهایت باشد، بر روی کیفیت سیلاژ مؤثر نمی‌باشد. هرچند، با افزایش دما سرعت این واکنش افزایش می‌یابد و می‌تواند به‌طور چشم‌گیری قابلیت هضم سیلاژ را کاهش دهد. هیدرولیز اسیدی همی‌سلولز همان شکسته شدن آهسته همی‌سلولز دیواره سلولی گیاهان است، که ناشی از اثر متقابل با یون‌های هیدروژن در سیلاژ می‌باشد. پایین تر بودن pH و در نتیجه بالاتر بودن غلظت یون هیدروژن موجب سریع‌تر شدن هیدرولیز می‌شود. هرچند، در pH های عادی سیلاژ، سرعت این فرایند پایین بوده و ممکن است کمتر از ۰٫۵٪ دیواره سلولی را کاهش دهد.

۱-۲-۲ اجزای ساختاری موثر در تهیه سیلاژ

۱) اجزای کربوهیدراتی:

کربوهیدرات‌ها در گیاهان به دو گروه عمده ساختمانی و غیر ساختمانی طبقه‌بندی می‌شوند. کربوهیدراتهای ساختمانی خود به دو دسته بافت[1] و پلی‌ساکاریدهای فیبری تقسیم می‌شوند. اجزای اصلی بافت، همی‌سلولز و پکتین می‌باشد. پلی‌ساکاریدهای فیبری به صورت رشته‌های نخی شکل بسیار ظریف به کمک پیوندهای گوناگون شیمیایی در بستر بافت، با یکدیگر اتصال دارند. قندهای موجود در این کربوهیدرات‌های ساختمانی (گلوکز، گالاکتوز، زایلوز و آرابینوز) به سهولت به عنوان مواد قابل تخمیر، در دسترس باکتری‌های تولید کننده لاکتیک اسید قرار نمی‌گیرند. اما ممکن است سرانجام تحت هیدرولیز توسط آنزیم‌هایی که درون خود گیاه وجود دارند، قابل استفاده شوند.

کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی شامل گلوکز، فروکتوز و ساکاروز می‌باشند. این کربوهیدرات‌ها در آب سرد محلول می‌باشند و به طور مشخص به عنوان کربوهیدراتهای محلول در آب شناخته شده‌اند [۱۲].

ترکیب‌های نیتروژن‌دار: این ترکیب‌ها شامل پروتئین‌ها، اسیدهای آمینه آزاد، آمیدها، پپتیدها، آمین‌ها، یوریدها، کلروفیل و نیترات‌ها می‌باشند.

---

[1] *Matrix*

پس از برداشت گیاه و در خلال مراحل اولیه تهیه سیلاژ، تغییراتی در گیاه اتفاق می‌افتد که ناشی از ادامه متابولیسم در سلول‌های گیاهی و فعال بودن آنزیم‌ها در بافت‌های مرده است. در این رابطه فرایندهای تنفسی و تجزیه پروتئین‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند.

تنفس و متابولیسم کربوهیدارتها: تنفس را می‌توان تخریب هوازی ترکیبات آلی به منظور تولید انرژی تعریف نمود که ماده مغزی عمده برای این فعالیت در گیاهان، کربوهیدرات‌ها هستند. در این رابطه قندهای شش کربنی جزء اصلی می‌باشند. واکنش کلی اکسایش کامل یک مولکول گلوکز در واکنش ۱-۱ خلاصه می‌شود.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2870kj$$ واکنش ۱-۱

حرارت حاصل از واکنش‌های آنزیم‌های تنفسی، در توده گیاه باقی می‌ماند و منجر به افزایش درجه حرارت می‌گردد. مادامی که شرایط داخل سیلو برای تنفس گیاه، مساعد باشد، فرایند اکسیداسیون هوازی نیز ادامه می‌یابد. در ادامه به اختصار به برخی عوامل موثر بر این پدیده می‌پردازیم.

i. درجه حرارت: میزان تنفس، عمدتاً به وسیله حرارت، کنترل می‌شود و هر دو عامل، وابسته به یکدیگر هستند. اثر درجه حرارت بر سرعت عمل آنزیم‌ها به خوبی شناخته شده است. در واقع دو تاثیر مختلف وجود دارد: اولاً سرعت اولیه واکنش با افزایش دما، افزایش می‌یابد و ثانیاً درجه حرارت بالاتر، باعث انعقاد پروتئین‌ها و کاهش ممتد غلظت آنزیم‌های فعال می‌گردد. در گیاهان مقاومت آنزیم‌ها در برابر حرارت، اساساً به حضور پروتئین‌های همراه، اسیدیته‌ای که آن‌ها در آن، نگهداری می‌شوند و بالاخره حضور ماده دارد. درجه حرارت نهایی سیلو بستگی به مقدار هوای موجود در آن دارد. اثر درجه حرارت محیط بر کنترل درجه حرارت مواد سیلو شده، کمتر از اثر تنفسی گیاهی است.

ii. غلظت اکسیژن و گاز کربنیک: افزایش غلظت گاز کربنیک در اتمسفر، موجب کاهش کاملاً مشخصی در تنفس می‌شود. از این اثر در نگهداری میوه‌ها و سبزیجات نیز استفاده می‌شود. در طی مرحله اول سیلو کردن، اثر اکسیژن بر وسعت تنفس بیشتر از سرعت آن است. وسعت تنفس، تحت تاثیر فراهم بودن قندها و اکسیژن می‌باشد که در عمل مقدار قندها زیاد است و عامل محدود کننده، فراهم بودن اکسیژن است.

iii. غلظت یون هیدروژن: عموماً آنزیم‌ها فقط در یک دامنه محدود pH، فعال هستند و اغلب اوقات برای فعالیت هر آنزیم یک pH مطلوب وجود دارد. اثر این عامل بر آنزیم‌ها مانند همه اثرات دیگر آن در نتیجه تغییر حالت یونیزاسیون اجزای تشکیل دهنده سیستم است.