

Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 351-368.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2026. Vol. 109. No. 3. P. 351-368.

КОРМОПРОИЗВОДСТВО И КОРМА

Научная статья
УДК 636.085.52:66.099.4
doi: 10.33284/2658-3135-109-3-351

Комбинированное консервирование кормов: терминологическое обоснование и концепция интегрированного технологического процесса

Елена Валентиновна Косолапова¹

¹Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, Княгинино, Россия

¹K-art-inka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0793-0847>

Аннотация. Современное кормопроизводство характеризуется высокой вариабельностью свойств зеленой растительной массы и ограниченной воспроизводимостью традиционных методов силосования, особенно многолетних бобовых трав, что обуславливает необходимость научного обоснования интегрированных технологических подходов к консервированию кормов. Цель работы направлена на проведение систематического анализа отечественных и зарубежных экспериментальных данных по комбинированному применению консервантов различной природы при заготовке бобовых трав, определение консервирующего эффекта технологических подходов и научное обоснование введения авторской дефиниции термина «комбинированное консервирование» в нормативно-терминологический аппарат кормопроизводства. Исследования выполнены на основе аналитического обзора отечественных и зарубежных научных публикаций, нормативно-технической документации (ГОСТ, ГОСТ Р, НТП АПК), а также сравнительно-терминологического и системного анализа. В качестве объектов анализа рассматривались технологии химического, биологического, ферментативного и физического воздействия на зеленую массу, а также практические примеры их комбинирования. Методологическую основу составили принципы теории технологических процессов и инженерного обеспечения отрасли кормопроизводства. В работе доказано, что существующие нормативные и научные термины не отражают современных технологических схем, основанных на сочетании нескольких методов консервирования. Установлены обязательные и факультативные признаки комбинированного консервирования, раскрыта его технологическая и инженерная сущность. Предложена авторская дефиниция термина «комбинированное консервирование», акцентирующая управляемость процесса, согласованность технологических операций и достижение измеримых показателей биологической, питательной и микробиологической стабильности корма. Обоснована роль операций скашивания, провяливания, измельчения, дозированного внесения совокупности консервантов, уплотнения и многоуровневой герметизации как ключевых элементов комбинированного консервирования. Введение термина «комбинированное консервирование» позволяет устранить терминологические неоднозначности, отразить современный этап развития технологий силосования и создать научную основу для разработки регламентированных технологических процессов и специализированных технических средств заготовки консервированных кормов.

Ключевые слова: комбинированное консервирование, силос, технологический процесс, качество, корм, кормопроизводство

Для цитирования: Косолапова Е.В. Комбинированное консервирование кормов: терминологическое обоснование и концепция интегрированного технологического процесса // Животноводство и кормопроизводство. 2026. Т. 109. № 3. С. 351-368. [Kosolapova EV. Combined feed preservation: terminology and concept of an integrated technological process. Animal Husbandry and Fodder Production. 2026;109(3):351-368. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-351>

FODDER PRODUCTION AND FODDERS

Original article

Combined feed preservation: terminology and concept of an integrated technological process

Elena V Kosolapova¹

¹Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russia

¹K-art-inka@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0793-0847>

Abstract. Modern forage production is characterized by high variability in the properties of green plant material and limited reproducibility of traditional ensiling methods, especially for perennial legumes. This necessitates the scientific substantiation of integrated technological approaches to feed preservation. The objective of this study is to substantiate the introduction of the term «combined preservation» in forage production as a scientifically and technologically correct representation of a controlled feed production process based on the coordinated application of several preservation methods within a single technological process. The study is based on an analytical review of domestic and international scientific publications, regulatory and technical documentation (State Standard, State Standard R, RTD APK), as well as comparative terminology and systems analysis. The objects of analysis were technologies using chemical, biological, enzymatic, and physical effects on crushed plant matter, as well as practical examples of their combination. The methodological framework is based on the principles of process engineering theory and forage production technology. This paper demonstrates that existing scientific terms inadequately reflect modern technological processes based on the combination of several preservation methods. The mandatory and optional features of combined preservation are identified, and its technological and engineering essence is revealed. The author proposes a definition of the term «combined preservation», emphasizing the controllability of the process, the consistency of technological operations and the achievement of measurable indicators of biological, nutritional and microbiological stability of feed. The role of mowing, drying, grinding, the measured application of a combination of preservatives, compaction, and multi-level sealing as key elements of combined preservation is substantiated. The introduction of the term «combined preservation» eliminates terminological ambiguity, reflects the current stage of development of ensiling technologies, and creates a scientific basis for the development of controlled technological processes and specialized technical equipment for the preparation of preserved feed.

Keywords: combined preservation, silage, technological process, quality, feed, feed production

For citation: Kosolapova EV. Combined feed preservation: terminology and concept of an integrated technological process. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2026;109(3):351-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-109-3-351>

Введение.

Обоснование применения понятия «комбинированное консервирование» в кормопроизводстве построено на основании терминологического анализа (Куулар М.Ч., 2021), строгой дефиниции и контекстуализации, предполагающей введение термина через ситуацию, проблему, исторический и технологический контекст, что в полной мере соответствует решаемой задаче.

Рациональное использование зеленой растительной массы при заготовке кормов является одной из ключевых задач кормопроизводства, так как именно на этапах заготовки и консервирования происходят основные потери сухого вещества и питательных элементов, определяющих кормовую ценность и технологическое качество готового корма.

Несмотря на значительный прогресс в разработке химических (Усков Г.Е. и др., 2017; So-blentz WK and Akins MS, 2021), биологических (Волкова Г.С. и Куксова Е.В., 2020) и ферментных (Клименко В.П. и др., 2019) консервирующих средств, эффективность их использования в производственных условиях во многом определяется не только биохимическими процессами, протекающими при брожении, но и возможностями существующих технологических схем и технологи-

ских средств, обеспечивающих внесение и распределение консервирующих веществ. Недостаточная равномерность распределения препаратов по зеленой массе, а также высокая вариабельность исходного сырья по содержанию сухого вещества и сахаров зачастую существенно снижают эффект стандартной технологической схемы заготовки корма. Это обуславливает необходимость разработки более устойчивых, управляемых и экономически выгодных технологических подходов, направленных на повышение качества консервированных кормов и снижение потерь питательных веществ.

Химические препараты, в первую очередь органические кислоты (муравьиная, пропионовая, уксусная) и их соли, обладают высокой эффективностью подавления патогенной микрофлоры (клубридий, дрожжей, плесневелых грибов). Также они обеспечивают быстрое снижение pH растительной массы (Yuan X et al., 2017; Dong Z et al., 2017). Благодаря их способности проникать через плазматическую мембрану дрожжей и плесени, происходят конформационные изменения мембранного белка, утечка внутриклеточного содержимого и, в конечном итоге, гибель грибковых клеток (Zhao X et al., 2022). Добавление диацетата натрия или сорбата калия может улучшить аэробную стабильность силоса (частичная нейтрализация молочной кислоты, более низкие значения pH и аммиачного азота) и расщепление в рубце (Dai T et al., 2022).

Химическое консервирование позволяет радикально снизить количества силосов с высоким содержанием масляной кислоты и потери питательных веществ. Однако сдерживающими факторами их использования являются экологическая опасность, высокая стоимость и большой расход.

Методы биологического консервирования основаны на внесении заквасок молочнокислых бактерий различных штаммов *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactocaseibacillus paracasei*, *Enterococcus faecium* и другие (Dong M et al., 2020). Они формируют благоприятный профиль брожения за счет активного образования молочной кислоты (Auerbach H et al., 2020; Lazarević D et al., 2025). Кроме того, молочнокислые бактерии могут производить полезные метаболиты, такие как органические кислоты, бактериоцины и экзополисахариды, которые помогают улучшать и сохранять силос (Bintsis T, 2018). Результаты исследований (Chen L et al., 2022) показали, что *Lactiplantibacillus plantarum* повышает качество силоса из люцерны за счет снижения потерь сухого вещества на 5,09 %, pH (4,88 против 5,22), содержания небелкового азота (на 3,11 %), а также повышения активности целлюлазы, пектиназы и протеазы. Также *Lactiplantibacillus plantarum* способствуют повышению микробиологической стабильности силоса за счет подавления развития микроорганизмов, вызывающих его порчу (Победнов Ю.А. и др., 2018; Yang F et al., 2020; You L et al., 2022).

Однако эффективность молочнокислых бактерий ограничивается условиями силосования (влажность, содержание сахара, стадия уборки растений). В случае трудносилосуемых культур, таких как люцерна (*Medicago sativa* L.) и козлятник восточный (*Galega orientalis* Lam.), их применение не всегда гарантирует получение силоса высокого качества (Бикчантаев И.Т. и Аскарова А.А., 2019; Ганущенко О., 2020).

В большинстве регламентированных технологий рассматриваются и нормируются отдельные способы консервирования, оказывающее на заготавливаемую массу то или иное дополнительное воздействие, направленное на стимуляцию процессов ферментации, повышение качества и стабильности готового корма и его усвоение животными.

По данным ряда исследователей (Клименко В.П. и Косолапов В.М., 2010; Guo G et al., 2014; Liu EY et al., 2024; Marques BDS et al., 2025) применение ферментных препаратов положительно влияет на консервирование зеленой массы. Это обусловлено расщеплением сложных полисахаридов (целлюлозы, гемицеллюлозы, крахмала, пектина) и превращения их в простые сахара (глюкозу, мальтозу, ксилозу), которые служат субстратом для молочнокислых бактерий, что ускоряет и усиливает образование молочной кислоты, основного консервирующего агента при силосовании. Частичный гидролиз клеточных стенок делает питательные вещества более доступными для ферментов и микробиоты пищеварительного тракта жвачных животных. Это увеличивает энергетическую ценность корма и коэффициент перевариваемости органического вещества.

Хотя фибролитические ферменты при некоторых обстоятельствах могут повышать усвояемость силоса, чрезмерное высвобождение водорастворимых углеводов также может снизить

аэробную стабильность, поскольку высвобожденные сахара активно используются дрожжами и плесенью, вызывающими порчу корма (Kung LJr and Muck RE, 2015). Положительный эффект от применения ферментов при силосовании зависит от содержания сухого вещества (Guo G et al., 2014). Ферментативные профили и активность смешанных ферментных препаратов часто непредсказуемы, что дополнительно обуславливает изменчивость реакции, наблюдаемую при использовании этих добавок (Muck RE et al., 2018).

Вместе с тем ферментные препараты, не обладая самостоятельным консервирующим эффектом и не обеспечивая прямого подавления нежелательной микрофлоры, в условиях производственной вариабельности сырья и технологических режимов не позволяют гарантировать требуемую динамику подкисления корма без комбинирования с другими средствами консервирования. По этой причине их чаще всего используют совместно с бактериальными заквасками (Клименко В.П. и Косолапов В.М., 2010; Muck RE et al., 2018).

На основании накопленного опыта по консервированию зеленой массы бобовых растений, исходя из имеющихся недостатков существующих подходов к силосованию и стремления создать более совершенный технологический метод заготовки сочного корма, закономерно возникло достаточно новое направление. Оно связано с комбинированием консервирующих средств различной природы, предполагающим их совместное или последовательное внесение в кормовую массу. Это обусловлено стремлением получить высокий консервирующий эффект благодаря сочетанию ценных свойств каждого из компонентов.

Уже существует ряд работ, отражающих результаты исследования сочетания мультиферментных препаратов с бактериальными заквасками (Клименко В.П. и др., 2019; Liu EY et al., 2024; Marques BDS et al., 2025), сахаросодержащих добавок с бактериальными инокулянтами (Xie Y et al., 2021), химических консервантов с биопрепаратами (Латышева О.В., 2021; Косолапова Е.В. и др., 2024). В последнем сочетании химический компонент выполняет функцию «пускового ингибитора», а биологический – «катализатора» целевого брожения. Все рассмотренные сочетания демонстрируют повышение консервирующего эффекта в той или иной степени в сравнении с традиционными подходами заготовки силоса – спонтанным брожением, химическим и биологическим консервированием.

Эти работы служат предпосылками к внедрению в кормопроизводство нового термина – «комбинированное консервирование». Формирование данного направления обусловлено не столько эмпирическим накоплением практических приемов, сколько переходом к технологическому подходу, предполагающему целенаправленное управление процессом консервирования на основе регламентированных сочетаний воздействий, воспроизводимых в конкретных условиях с использованием соответствующих технических средств.

Цель исследования.

Провести систематический анализ отечественных и зарубежных экспериментальных данных по комбинированному применению консервантов различной природы при заготовке бобовых трав, выявить консервирующий эффект технологических подходов и научно обосновать введение авторской дефиниции термина «комбинированное консервирование» в нормативно-терминологический аппарат кормопроизводства.

Материалы и методы исследований.

Исследование выполнено на основании терминологического анализа и концептуального моделирования. Информационную основу составили рецензируемые научные публикации отечественных и зарубежных авторов (2000-2025 гг.), нормативно-техническая документация (ГОСТ, ГОСТ Р, НТП АПК, ТУ, методические рекомендации Минсельхоза РФ и РБ), а также материалы международных конференций по кормопроизводству и технике. Поиск источников осуществлялся в базах данных eLibrari, Scopus, Web of Sciense, CyberLeninka и на официальных порталах профильных издательств по ключевым запросам.

Объект исследования. Технологические схемы консервирования зеленой массы бобовых трав в отечественной и зарубежной практике, а также система терминов и определений кормопроизводства.

Схема исследования. Анализу подвергались источники, содержащие описание результатов различных подходов консервирования кормов, с применением химических, биологических и ферментных препаратов, совместного применения двух и более методов консервирования, а также отражающих объективную оценку их влияния на процессы ферментации, показатели питательности готового корма и его аэробную стабильность. Также исследовались материалы, отражающие технологические требования к выполнению операций при заготовке консервированных кормов (силоса) с учетом терминов и определений кормопроизводства.

Методологические основы работы составили ряд научных методов.

Логико-аналитический синтез реализован при группировке данных, классификации консервирующих воздействий по природе (химическое, биологическое, ферментативное, физическое), оценке их синергетического эффекта и формализации инженерно-технологического содержания предлагаемого термина «комбинированное консервирование».

Критический и сравнительный анализ имеющихся экспериментальных данных по комбинированному консервированию зеленой массы и сопоставления понятий кормопроизводства.

Системный анализ применялся для рассмотрения комбинированного консервирования как элемента производственной цепи, интегрирующего агротехнологические, биохимические и инженерно-технические компоненты (подготовка сырья, дозирование консервантов, уплотнение и герметизация массы, синхронизация с МТП).

Применение указанных методов позволило систематизировать накопленный опыт по комбинированному консервированию в единую технологическую модель, установить их устойчивый консервирующий эффект и научно обосновать целесообразность введения термина «комбинированное консервирование» в нормативно-технологический аппарат отрасли.

Результаты исследования и их обсуждение.

При построении понятийно-терминологического аппарата любой науки принято руководствоваться требованием (принципом) однозначности терминов, согласно которому каждому термину должно соответствовать лишь одно значение.

В области кормопроизводства применяется такой официально утвержденный термин как «консервирование кормов». Его понятие раскрывается в нормативном документе ГОСТ 23153-78 «Кормопроизводство. Термины и определения», которое означает «...процесс обработки кормов с помощью физических, химических или биологических методов с целью их сохранения при минимальных потерях питательных веществ».

Из определения видно, что при консервировании кормов предполагается обработка одним из методов: физическим, либо химическим, либо биологическим. Поэтому в данном нормативном документе отдельно приведены соответствующие термины.

«Химическое консервирование кормов – консервирование кормов с помощью химических препаратов с целью обеспечения их сохранности».

«Заквашивание кормов – внесение в силосуемую массу специальных молочнокислых и других бактериальных заквасок, обеспечивающих консервирование корма».

Как можно заметить, рассмотренные понятия не охватывают современных технологических подходов к консервированию кормов, основанных на их сочетании.

В кормопроизводстве используется термин «комбинированный силос», предполагающий силосованный корм, приготовленный из нескольких видов сырья, основными из которых являются: зеленая масса растений, корне-клубнеплоды и промышленные пищевые отходы.

В учебниках и справочниках по товароведению и пищевой технологии встречается термин «комбинированные методы консервирования», предполагающие совместное использование нескольких способов (физических/химических) консервирования (маринование+охлаждение; копчение+сушка; соль+специи и др.).

Таким образом, они предполагают объединение нескольких видов сырья или методов консервирования, что концептуально согласуется с новыми технологическими подходами в кормопроизводстве при консервировании растительной массы. Однако при этом имеются существенные различия, обусловленные особенностями технологического процесса и способов воздействия.

Обзор зарубежных источников показал, что для раскрытия результатов исследований, связанных с комбинированием нескольких способов в одной технологии заготовки корма, также используются различные термины.

В свое время Leistner L (2000) в своей статье использовал термин «барьерная технология (Hurdle technology)», представляющий собой комбинацию методов консервирования, обеспечивающих микробную безопасность и стабильность, а также органолептические и питательные свойства, экономическую целесообразность пищевых продуктов, что в полной степени соответствует концепции производства кормов. Впервые эффект барьера L Leistner описал в 1978 году. Под ним автор рассматривает температуру во время обработки и хранения (высокая или низкая), повышение кислотности (pH), снижение активности воды (a_w) или окислительно-восстановительного потенциала (Eh), а также применение консервантов (например, нитриты, сорбаты, сульфиты) и конкурирующие микроорганизмы (например, молочнокислые бактерии).

Таким образом, анализ научной и нормативной литературы показал, что термин «комбинированное консервирование» в настоящее время не закреплен в русскоязычных нормативных документах по кормопроизводству, несмотря на то, что сама идея уже закреплена в научных публикациях и практической деятельности. При этом употребляются термины, имеющие схожее концептуальное значение, указывающее на объединение методов консервирования в технологических схемах: сочетание, соединение, совместное использование, смешивание (смесь), композиция.

Аналитический обзор научной литературы, нормативно-правовой документации (ГОСТ/Р/ТУ) в различных областях свидетельствует об отсутствии официальной стандартизированной дефиниции данного термина, что обуславливает целесообразность разработки его корректного научного определения и актуализирует задачу стандартизации терминологии в сфере заготовки и консервирования кормов.

С позиций терминологического анализа «комбинированное консервирование» объединяет в себе обязательные признаки: использование двух и более методов консервирования (биологических, химических и / или физических), согласованность их применения (одновременное или последовательное) и направленность на сохранение питательных веществ, подавление патогенной микрофлоры, повышение качества и стабильности готового корма.

К факультативным признакам можно отнести: состав сырья, конкретные дозы препаратов и способ их внесения, вид и форма хранилища, способ создания анаэробных условий.

На основании обобщения имеющихся данных предлагаем формулировку понятия термина «комбинированное консервирование» для использования в кормопроизводстве.

«Комбинированное консервирование – это технологический процесс заготовки растительной массы путем комплексного применения двух и более методов воздействия (физического, химического, биологического), обеспечивающий сохранность питательных веществ и стабильность корма».

Предлагаемое понятие базируется на основе накопленного опыта в области производства консервированных кормов. Обоснуем каждый пункт, составляющий его дефиницию, влияющий на ясность и точность понимания термина, а также на общее представление о нем.

Комбинированное консервирование можно рассматривать как управляемый технологический процесс, поскольку результат (стабилизация корма) определяется не только биохимией брожения, но и воспроизводимостью технологических операций: подготовкой сырья (управление содержанием сухого вещества/влажностью), измельчением (регулирование фракционного состава), уплотнением (контроль за плотностью, укладываемой массы), герметизацией (обеспечением анаэробных условий внутри хранилища), а также состав, точность и равномерность внесения консервирующих препаратов, которые должны быть синхронизированы с объемом и скоростью подачи рас-

тительного сырья на линии заготовки корма. То есть данная формулировка четко указывает на то, что речь идет не о случайном сочетании методов, а о целенаправленно спроектированной технологии, имеющей четкие этапы, параметры и цели (рис. 1).

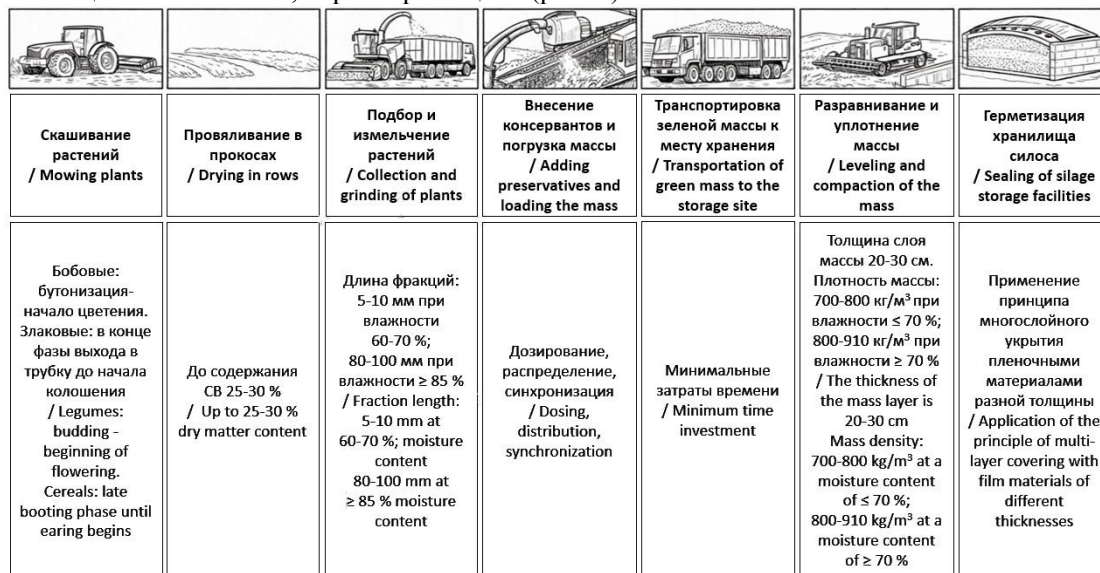


Рисунок 1. Схема технологического процесса комбинированного консервирования зеленой массы
 Figure 1. Scheme of the technological process of combined preservation of green mass

Согласно нормативным документам России (Нормы технологического проектирования хранилищ силоса и сенажа НТП АПК 1.10.11-001-00) и зарубежных стран (Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: Регламент...), скашивание многолетних трав на силос осуществляется в оптимальные фазы вегетационного периода: у бобовых трав это фаза бутонизации – начало цветения. В эти фазы развития, например, у люцерны среднее содержание сырого протеина составляет 20,0-23,8 % от содержания сухого вещества (СВ), жира – 3,2-3,8 %, клетчатки 22,8-27,1 % (Степанова Г.В., 2019).

Растения скашиваются в прокосы для провяливания до содержания сухого вещества 25-30 %. Контроль влажности играет одну из ключевых ролей управления процессом заготовки кормов (Li J et al., 2023; Wang X et al., 2024), так как при силосовании зеленой массы влажностью 60-70 % потери сухого вещества составляют 10–12 %, при влажности 71–80 % – 14–15 %, свыше 80 % – более 15 % (Технологический регламент, техническое обеспечение и технологические карты выращивания и заготовки кормов из трав: Регламент...).

Далее подбор, измельчение растений на фракции, величина которых зависит от влажности массы – при ее снижении уменьшается и длина резки: при влажности массы 60-70 % ее фракции должны иметь размер 5-10 мм; 70-75 % – 20-30 мм; 75-80 % – 50-70 мм; 85 % и более 80-100 мм). Далее выполняется внесение консерванта, доза внесения которого зависит от его вида. Расход может составлять от 1 л на 40 т до 6 л/т. Консерванты вносят с помощью насоса-дозатора, установленного на кормоуборочном агрегате. Затем осуществляется погрузка зеленой массы в транспортное средство и транспортировка.

Перед тем как осуществить выгрузку зеленой массы необходимо предварительно подготовить хранилище к укладке массы. Практический опыт показывает, что в процессе хранения силос чаще всего портится по краям траншеи (Ламанов А. и Ермолаев С., 2016; Бакач Н.Г. и Лабочкий И.М., 2019). Происходит это потому, что при трамбовке достаточно трудно добиться хорошего уплотнения в пристеночных частях траншеи. Для того, чтобы блокировать все пути проникновения кислорода в корм, просто необходимо выстлать стены траншеи пленкой, дополнительно протягивая ее

на 1 м по днищу траншеи по направлению к центру. Для этого первым слоем на дно и бока траншеи для герметичности укладывается стандартная плотная полиэтиленовая пленка 6-метровой ширины толщиной 60-160 мкм. Чтобы зафиксировать ее на стенках траншеи в ее верхней части пленку прижимают каким-либо грузом на дне траншеи – закладываемой силосной массой. Такая пленка защищает боковые бетонные стены силосных траншей от воздействия присутствующих в силосе кислот, что значительно продлевает срок их эксплуатации и повышает степень герметичности, необходимую для благоприятного исхода ферментации.

Согласно технологическому регламенту после выгрузки массы, она разравнивается слоями толщиной 20-30 см и трамбуется. В процессе этой технологической операции также могут вноситься жидкие консерванты с помощью насоса-дозатора, установленного на трамбующем погрузчике или тракторе. Уплотнение кормового материала осуществляется в течение всего рабочего дня тракторами общего назначения, обеспечивающими удельное давление на поверхность корма 0,04-0,08 Мпа (0,4-0,8 кгс/см²). Первые проходы по рыхлой массе трактор выполняет со скоростью 3 км/ч; по мере уплотнения скорость движения увеличивается до 6-8 км/ч. Плотность укладки силосуемой массы также зависит от ее влажности. При значении 70 % и ниже масса должна уплотняться до 700-800 ± 50 кг/м³, при значении выше 70 % – 800-910 кг/м³. При этом толщина ежедневно укладываемого уплотненного слоя по всему хранилищу не должна быть менее 80 см. Кроме того, для хранилища емкостью не более 500 т процесс заполнения не должен превышать 2-3 дней. Недостаточное уплотнение массы при хранении в траншейных хранилищах приводит к потерям 15-20 % корма и снижению его качества до уровня неклассных (Бакач Н.Г. и Лабоцкий И.М., 2019).

По завершению трамбовки необходимо обеспечить надежную герметизацию хранилища с помощью пленочных материалов. В большинстве случаев масса герметично укрывается черной пленкой толщиной 120-150 мкм, края которой накладываются внахлест до 0,5 м. При несоблюдении требований герметизации поверхностная порча силоса от плесени может достигать 150-200 кг/м², а в некоторых случаях корм становится непригодным к скармливанию. Поэтому вопросам герметизации уделяется отдельное внимание (Ламанов А., 2016). Для снижения краевых потерь необходимо применять пристенные пленки, уменьшающие проникновение воздуха. В верхних слоях силосуемого корма наличие воздуха намного выше, чем в нижних, из-за меньшей плотности укладки корма. Кроме того, оказывают влияние неровности на поверхности, возникающие от прохода трактора, а укрывная силосная пленка толщиной 150-200 мкм не может компенсировать неровности из-за слишком большой жесткости (Бакач Н.Г. и Лабоцкий И.М., 2019). Поэтому чтобы копировать все неровности поверхности силосуемой массы, необходимо сначала укрывать массу тонкой и прочной пленкой для создания барьера от кислорода воздуха. А затем уже прочной черной или черно-белой пленкой толщиной 100-150 мкм, а также материалами, защищающими от ультрафиолета. На сегодняшний день наиболее эффективным пленочным укрытием является кислородно-барьерная силосная система «Silostop» от компании «Бруно Римини» (Ламанов А., 2016). Ее применение обеспечивает герметичность силосохранилища и способствует сокращению порчи и потерь корма. В один из вариантов системы полной защиты силоса входит четыре компонента. Толстая пленка с кислородо-барьерным покрытием для укрытия стенок бурта. Кислородно-барьерное покрытие толщиной 40 мкм, которое укладывают на поверхность силосохранилища. Оно в 100 раз устойчивее к проникновению кислорода, чем полиэтилен. Такая пленка плотно прилегает к поверхности и достаточно легко «втягивается» в углубления массы за счет ее влажности. Благодаря этому создаются оптимальные условия для размножения и жизнедеятельности молочнокислых бактерий. Поверх нее укладывается специальное многосезонное покрытие, длительное время, защищающее пленку от физических повреждений. Оно фиксируется мешками с гравием, обеспечивающими полную герметизацию и фиксирующие всю конструкцию (рис. 2).



Рисунок 2. Схема многослойной герметизации силоса с использованием системы Silostop в производственных условиях (Ламанов А., 2016)

Figure 2. Diagram of multi-layer sealing of a silo using the Silostop system in production conditions (Lamanov A, 2016)

Результаты практического применения системы Silostop свидетельствуют, что она позволяет полностью устранить видимую порчу в верхнем слое силоса толщиной 30-90 см, обеспечивает лучший ферментативный профиль и повышает пищевую ценность силоса

На сегодняшний день поиск наиболее управляемой, энергетически и экономически эффективной технологии осуществляется через исследование комбинирования различных методов консервирования, что обосновывает в предлагаемой дефиниции термина включение формулировки «...путем комплексного применения двух и более методов воздействия (физического, химического, биологического)...» и означает не просто суммирование технологических приемов, а обоснование режимов взаимодействующих воздействий, направленных на получение синергетического эффекта от их совместного применения. В технологическом процессе они не просто применяются последовательно, параллельно или одновременно, а взаимно усиливают эффективность друг друга.

На уровне физических методов точно установлена тесная взаимосвязь между содержанием сухого вещества в зеленой массе, степенью измельчения растений и их уплотнением, раскрытые выше. Например, при снижении влажности длина резки уменьшается, чтобы обеспечить необходимую плотность кормового материала, так как упругость растений препятствует уплотнению.

Что касается препаратов для силосования, то RE Muck и соавторы (2018) разделили их на 6 групп с практической точки зрения производителя: 1) гомоферментативные молочнокислые бактерии, 2) облигатные гетероферментативные молочнокислые бактерии, 3) комбинированные инокулянты, содержащие облигатные гетероферментативные молочнокислые бактерии плюс гомоферментативные или факультативные гетероферментативные молочнокислые бактерии, 4) другие инокулянты (не относящиеся к молочнокислым бактериям виды), 5) химические вещества и 6) ферменты. Авторы указывают, что добавки для силоса могут иметь более одного механизма действия.

Накоплен опыт по комбинированию препаратов для силосования разной природы: химические консерванты в сочетании с биоконсервантами (бактериальные закваски) (Ergin S and Gumus H, 2020; Латышева О.В., 2021; Косолапова Е.В. и др., 2024) и ферментами (Клименко В.П. и др., 2019). Как показывает анализ результатов, описываемый отечественными и зарубежными авторами, все варианты комбинирования в той или иной степени обладают более высоким консервирующим эффектом, чем спонтанное силосование или применение препаратов в чистом виде.

При исследовании влияния комбинированного внесения соли (3 г/кг) и молочнокислых бактерий ($1,0 \times 10^6$ КОЕ/г) Ergin S and Gumus H (2020) установили, что такой подход достоверно

лучше снижает pH силоса из люцерны к 60-м суткам (4,49) по сравнению с контролем (5,91) и внесением бактериального препарата (4,59) и соли (5,25) в чистом виде.

Как показывают результаты наших исследований (Косолапова Е.В. и др., 2024), проведенных по силосованию козлятника восточного с применением комбинации химического препарата Текацид (52 % муравьиной кислоты, 18 % пропионовой кислоты, 7 % натрия и остальное – вода) с дозой внесения 1,5 л/т и биологического препарата Биосил НН (микробная масса живых гомоферментативных молочнокислых микроорганизмов *Lactococcus lactis* и *Lacticaseibacillus casei* в соотношении 1:1 с расходом 1л/40 т), такой подход позволил заготовить корм с содержанием в 1 кг сухого вещества 135 г сырого и 91,5 г перевариваемого протеина, 0,79 кормовых единиц и 10,1 МДж обменной энергии, что соответствует современным требованиям, предъявляемым к качественным кормам. При этом расход химического консерванта был снижен на 70 % по сравнению с традиционным химическим консервированием.

Эти данные согласуются с результатами исследований, проведенными О.В. Латышевой (2021). Автор также изучала комбинирование биологического консерванта Фермасил и химического препарата на основе органических кислот Витасил. В готовом корме отмечено повышение питательной ценности зернобобового сенажа, а именно, содержание сырого протеина на 42,7 г по сравнению с контролем (без консервантов), обменной энергии на 1,2 МДж.

Экспериментальные исследования В.П. Клименко и соавторов (2019) по оценке консервирующего действия новой ферментной мультисистемы в композиции (90 г/т) с бактериальным препаратом Силзак при силосовании люцерны показали, что полученный корм по биохимическим показателям качества не уступал корму, приготовленному с химическим консервантом AIV3 plus. При этом превосходил его по перевариваемости питательных веществ и энергетической питательности. Однако эффективность такой комбинированной схемы зависит от влажности сырья при СВ>30 % положительный эффект ферментов усиливается, а при СВ<20 % требуется коррекция дозы инокулянта.

В свою очередь ряд зарубежных авторов (Kumari N et al., 2023) исследовали влияние применения бактериальных инокулянтов и их комбинаций с ферментами и химическими добавками на процессы ферментации при силосовании кукурузы на 15, 25, 35 и 45 день. Ими было подготовлено пять вариантов обработки: бактериальные инокулянты (гомоферментативные бактерии *Lactobacillus plantarum* (LP) и гетероферментативные бактерии *Lactobacillus fermentum* (LF), контроль) LP+LF, комбинация LP+LF с ферментом ксиланазой (X), комбинация LP+LF с ферментом целлюлазой (C), комбинация LP+LF с X+C и комбинация LP+LF с пропионовой кислотой (PA). Компоненты вносились одновременно в виде смеси препаратов. Результаты авторов демонстрируют, что механизмы действия и конечные эффекты комбинированного консервирования существенно различаются в зависимости от природы добавляемого компонента к бактериальному инокулянту. При совместном внесении молочнокислых бактерий LP+LF с фибролитическими ферментами (ксиланаза+целлюлоза) основной эффект достигается за счет гидролиза клеточных стенок и высвобождения водорастворимых углеводов, что создает дополнительный субстрат для гомоферментативного брожения. Это подтверждается достоверно более низким содержанием аммиачного азота в варианте LP+LF+X+C (7,11-7,62 % от общего азота) по сравнению с контролем LP+LF (8,41-9,06 %) и вариантом с пропионовой кислотой LP+LF+PA (7,26-8,02 %) ($P<0,05$), что свидетельствует в данном случае о более эффективном подавлении протеолиза.

Потери СВ в ферментной комбинации составили 5,73-8,42 % против 7,18-9,56 % в варианте с химическим консервантом. Значение pH в данном варианте достигло минимума (3,94-3,98), обеспечивая индекс Флига >101 уже к 15-м суткам.

В отличие от ферментных схем, комбинация молочнокислых бактерий с пропионовой кислотой (LP+LF+PA) реализует иной механизм: химический компонент напрямую подавляет развитие дрожжей и плесеней, что подтверждается минимальным содержанием плесеней на 45 сутки силосования и более высоким содержанием уксусной кислоты (2,31-3,74 %), способствующей

аэробной стабильности. Однако, как показывают результаты исследований, этот вариант не обеспечил столь выраженного снижения протеолиза и потерь СВ, как ферментная комбинация.

Следовательно, комбинация молочнокислых бактерий с ферментами в данном случае преимущественно улучшила профиль ферментации и сохранность протеина за счет ускоренного подкисления, тогда как комбинация бактериального препарата с химическим консервантом эффективнее подавляет аэробную порчу. Это подтверждает правомерность дифференциации схем комбинированного консервирования в зависимости от целевых показателей качества корма.

Не смотря на то, что данные результаты получены на кукурузном силосе, они принципиально подтверждают технологическую модель комбинированного консервирования, основанную на согласованном воздействии ферментов, бактерий и химических ингибиторов, что полностью проецируется на бобовые культуры с учетом коррекции вносимых доз консервантов и добавок под их буферную емкость и влажность.

Указание в предлагаемой формулировке термина «комбинированное консервирование» на сохранность питательных веществ и стабильность корма, предполагает, что технология должна давать измеримый результат.

«Биологическая стабильность» в контексте консервирования кормов предполагает сохранение физиологических свойств растительной массы, выраженной, прежде всего, в прекращении или замедлении дыхательных и ферментативных процессов, самосогревания и предотвращения порчи кормового материала. Иными словами, применяемые технологические подходы должны обеспечивать быстрое достижение условий, в которых дальнейшие изменения массы определяются уже контролируемой анаэробной микробной ферментацией, а не аэробными процессами. В свою очередь Pahlow G и Muck RE (2009) указывают, что при соблюдении технологии силосования аэробная фаза обычно продолжается не дольше 1-3 дней. Воздействие воздуха (в аэробной фазе при закладке силоса или при разгерметизации хранилища и скармливании готового корма) ведет к окислению субстратов силоса, росту температуры и прямым потерям сухого вещества, потому что часть органического вещества расходуется на дыхание и аэробный метаболизм микроорганизмов. Все это рассматривается как фундаментальный механизм «биологической нестабильности» консервированного корма (Pahlow G and Muck RE, 2009). Поэтому как отечественные (Победнов Ю.А. и др., 2021), так и зарубежные исследователи (Wilkinson JM and Davies DR, 2013) при разработке технологических подходов особое внимание уделяют их влиянию на анаэробную стабильность корма. Целевой показатель потенциальной аэробной стабильности силоса составляет семь дней, включая время пребывания в кормушке (Wilkinson JM and Davies DR, 2013). Согласно требованиям ГОСТ Р 55986-2022 кормовая масса, как минимум, должна сохранять мягкую, не мажущую консистенцию.

В свою очередь «питательная стабильность» представляет собой действия, направленные на сохранность основных питательных веществ по отношению к исходной зеленой массе (сухого вещества, протеина, обменной энергии), а также предотвращения нежелательных превращений (чрезмерной протеолизной деградации, окисления растворимых углеводов и т.д.). В своей обзорной статье Vongeani G с соавторами (2018) при оценке потерь сухого вещества и ухудшения качества, происходящих в процессе силосования, начиная с поля и заканчивая фазой откорма, демонстрируют, что их изменения формируются как суммарный эффект дыхания и нагревания массы на старте силосования, профиля ферментации, качества герметизации и управления аэробным ухудшением при вскрытии хранилища. Именно поэтому «стабильность питательности» рассматривается как сквозной результат технологического управления, а не как частный показатель.

«Микробиологическая стабильность» также играет немаловажную роль, в том числе, в процессе хранения и скармливания готового корма. Она предполагает устойчивое доминирование желаемого микробного процесса (преимущественно молочнокислого брожения) и подавление нежелательной микрофлоры (дрожжи, плесени и др.) как в фазе созревания силоса, так и при контакте его с воздухом в период вскрытия и скармливания. Употребление этой формулировки сводится к тому, что совокупность технологических подходов при комбинированном консервировании должна обеспечивать прекращение аэробной фазы и предотвращать самосогревание, высокую со-

хранность СВ и качества на всем цикле производства и хранения корма, за счет подавления нежелательной микрофлоры.

Введение данного термина позволит не только устранить неоднозначности в терминологии, но и отразить актуальный этап развития технологий кормопроизводства, соответствующий мировым тенденциям перехода к интегрированным и ресурсосберегающим методам. Оно демонстрирует движение от частных решений к системным технологиям, где ключевым принципом становится синергия методов и адаптация к условиям консервирования конкретного вида сырья. Закрепление данного понятия в научном обороте приобретает технологическое содержание, поскольку подразумевает целенаправленную синхронизацию режимов проявлявания, степени измельчения растений, уплотнения, дозирования и способов внесения консервирующих препаратов с учетом параметров сельскохозяйственной техники и оборудования. Это может потребовать разработки специализированных модулей дозирования, адаптации рабочих органов силосоуборочных комплексов и оптимизации энергозатрат.

С этих позиций комбинированное консервирование представляет собой не только технологический подход, но и задачу, тесно связанную с инженерно-техническими решениями. Их реализация позволит сформулировать новый классификационный подход к технологиям силосования, учитывающий синергетический эффект от комбинируемых препаратов, создать предпосылки для разработки нормативных документов и технологических регламентов, модернизации существующих и создания новых технических устройств для заготовки кормов.

С позиции технологии комбинированное консервирование следует рассматривать как комплексный управляемый процесс, реализуемый в составе технологической линии заготовки кормов и предусматривающий применение сочетаний консервирующих препаратов различной природы, специализированных дозирующих и распределительных устройств, обеспечивающих одновременную параллельную или последовательную подачу консервантов в количестве, синхронизированном с объемом поступающей зеленой массы. При этом одним из ключевых условий эффективности комбинированного консервирования является определение сочетания методов консервирования, чтобы они обеспечили положительный синергетический эффект, направленный на стабилизацию параметров протекания биохимических и микробиологических процессов и обеспечения высокой эффективности технологического подхода заготовки консервированного корма в условиях промышленного кормопроизводства.

В отличие от простого сочетания отдельных приемов комбинированное консервирование характеризуется рядом признаков, определяющих его технологическую и инженерную сущность. К таким признакам относятся технологическая согласованность применяемых воздействий, при которой дозы и моменты внесения компонентов взаимно увязаны между собой и с параметрами исходного сырья, включая влажность, содержание сухого вещества, длину резки и плотность кормового материала.

Важнейшим условием реализации комбинированного консервирования является его техническая реализуемость, предполагающая использование технических средств, обеспечивающих своевременность и точность внесения консервирующих препаратов, равномерность их распределения по зеленой массе и синхронизацию с производительностью кормоуборочной техники.

Эффективность комбинированного консервирования оценивается по измеримым целевым показателям, таким как значение pH, профиль органических кислот, содержание аммиачного азота, сырого и перевариваемого протеина, сухого вещества и обменной энергии, и аэробная стабильность. Совокупность указанных признаков обеспечивает формирование системного эффекта, выражающегося в достижении устойчивого технологического результата, недостижимого при изолированном применении отдельных способов консервирования.

Заключение.

Проведенный анализ научных и нормативных источников подтверждает, что современные технологии заготовки консервированных кормов из бобовых трав все чаще базируются на согласо-

ванном применении двух и более консервирующих воздействий, что не отражено в действующей системе терминов кормопроизводства. Обобщение экспериментальных данных отечественных и зарубежных исследователей демонстрирует устойчивый синергетический эффект комбинированного консервирования: снижение доз химических консервантов на 30-70 %, ускоренное подкисление массы, повышение аэробной стабильности и сохранности СВ и перевариваемого протеина. На основании проведенных теоретических исследований предложена авторская дефиниция термина «комбинированное консервирование», которая соответствует критериям научной терминологии, отражает управляемость технологического процесса и создает основу для разработки стандартизированных регламентов и специализированных технических средств.

Список источников

1. Бакач Н.Г., Лабоцкий И.М. Техническое обеспечение качественной заготовки травянистых кормов в траншейных хранилищах // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 3(35). С. 52-55. [Bakach NG, Labotsky IM. The technical support of quality herbaceous fodder harvesting in trench storages. Journal of VNIIMZH. 2019;3(35):52-55. (In Russ.)].
2. Бикчантаев И.Т., Аскарова А.А. Эффективность применения биологических препаратов при консервировании люцерны // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 11. С. 18-21. [Bikchantaev IT, Askarova AA. Efficacy of biological products in alfalfa preservation. Achievements of Science and Technology in the Agro-industrial Complex. 2019;33(11):18-21. (In Russ.)]. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11104
3. Волкова Г.С., Куксова Е.В. Применение консервантов различной природы для заготовки кормов // Эффективное животноводство. 2020. № 3(160). С. 124-125. [Volkova GS, Kuksova EV. Primenenie konservantov razlichnoj prirody dlja zagotovki kormov. Effektivnoe zhivotnovodstvo. 2020;3(160):124-125. (In Russ.)]. doi: 10.24411/9999-007A-2020-00011
4. Ганущенко О. Консервирование многолетних бобовых трав // Животноводство России. 2020. № 5. С. 45-50. [Ganushchenko O. Preservation of perennial legume herbs. Zhivotnovodstvo Rossii. 2020;5:45-50. (In Russ.)]. doi: 10.25701/ZZR.2020.80.94.018
5. ГОСТ 23153-78. Кормопроизводство. Термины и определения. Введ. 01.07.1979. М.: Издательство стандартов, 1995. 18 с. [GOST 23153-78. Fodder production. Terms and definitions. Vved. 01.07.1979. Moscow: Izdatel'stvo standartov; 1995:18 p. (In Russ.)].
6. Исследование факторов, определяющих аэробную стабильность силоса из кукурузы, заготовленной в фазе восковой спелости зерна / Ю.А. Победнов, А.А. Мамаев, Б.А. Осипян, И.В. Кучин, К.Е. Юртаева // Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. № 1. С. 87-94. [Pobednov YuA, Mamaev AA, Osipyana BA, Kuchin IV, Yurtaeva KE. Study of factors determining aerobic stability of silage from corn harvested in the phase of waxy ripeness of the grain. Problems of Productive Animal Biology. 2021;1:87-94. (In Russ.)]. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.1.87-94
7. Клименко В.П., Косолапов В.М. Приготовление силоса высокого качества из козлятника восточного // Достижения науки и техники АПК. 2010. № 10. С. 34-37. [Klimenko VP, Kosolapov VM. Preparation of high-qualitative silage from fodder galega (Galega orientalis Lam.). Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex. 2010;10:34-37. (In Russ.)].
8. Косолапова Е.В., Кучин Н.Н., Косолапов В.В. Исследование влияния комбинированного консервирования на процессы брожения при силосовании провяленной зеленой массы козлятника // Вестник НГИЭИ. 2024. № 8(159). С. 17-31. [Kosolapova EV, Kuchin NN, Kosolapov VV. Study of the influence of combined canning on the quality of fermentation during ensiling of sluggish green mass of goat's rue. Bulletin of NGIEI. 2024;8(159):17-31. (In Russ.)]. doi: 10.24412/2227-9407-2024-8-17-31

9. Куулар М.Ч. Терминологический анализ понятия «монография» // Библиосфера. 2021. № 3. С. 72-82. [Kuular MCh. Terminological analysis of the term «monograph». Biblosphere. 2021;3:72-82. (In Russ.)]. doi: 10.20913/1815-3186-2021-3-72-82
10. Ламанов А., Ермолаев С. Silostop: революция в укрытии силосохранилищ // Животноводство России. 2016. № 7. С. 56-57. [Lamanov A, Ermolaev S. Silostop: revolution in silo covering. Zhivotnovodstvo Rossii. 2016;7:56-57. (In Russ.)].
11. Латышева О.В. О самом эффективном способе консервирования // Эффективное животноводство. 2021. № 3(169). С. 53-54. [Latysheva OV. O samom ehffektivnom sposobe konservirovaniya. Ehffektivnoe zhivotnovodstvo. 2021;3(169):53-54. (In Russ.)].
12. Новый биологический препарат для силосования люцерны / В.П. Клименко, В.М. Косолапов, В.Г. Косолапова, К.Е. Юртаева // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 3. С. 36-40. [Klimenko VP, Kosolapov VM, Kosolapova VG, Yurtaeva KE. New biological preparation for alfalfa silage making. Vestnik of the Russian Agricultural Science. 2019;3:36-40. (In Russ.)]. doi: 10.30850/vrsn/2019/3/36-40
13. Силосование люцерны с препаратами молочнокислых бактерий / Ю.А. Победнов, А.А. Мамаев, М.С. Иванова, К.Е. Юртаева // Животноводство и кормопроизводство. 2018. Т. 101. № 1. С. 213-220. [Pobednov YuA, Mamaev AA, Ivanova MS, Yurtaeva KE. Alfalfa silage with lactic acid bacteria preparations. Animal Husbandry and Fodder Production. 2018;101(1):213-220. (In Russ.)].
14. Степанова Г.В. Влияние погодных условий на химический состав сухого вещества люцерны (*Medicago varia* Mart.) в фазу цветения // Адаптивное кормопроизводство. 2019. № 2. С. 26-39. [Stepanova GV. Influence of weather conditions on chemical composition of dry matter of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) in the flowering phase. Adaptive Fodder Production. 2019;2:26-39. (In Russ.)]. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-26-39
15. Усков Г.Е., Цопанова А.В., Усков И.Г. Химическое консервирование бобовых культур // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2017. Т. 5. № 3. С. 52-58. [Uskov GE, Tsopanova AV, Uskov IG. Chemical conservation of legume crops. Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology. 2017;5(3):52-58. (In Russ.)]. doi: 10.14529/food170307
16. Auerbach H, Nadeau E. Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy*. 2020;10(9):1229. doi: 10.3390/agronomy10091229
17. Bintsis T. Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS microbiology*. 2018;4(4):665-684. doi: 10.3934/microbiol.2018.4.665
18. Borreani G, Tabacco E, Schmidt RJ, Holmes BJ, Muck RA. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of dairy science*. 2018;101(5):3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
19. Chen L, Bao X, Guo G, Huo W, Li Q, Xu Q, Wang C, Liu Q. Evaluation of gallnut tannin and *Lactobacillus plantarum* as natural modifiers for alfalfa silage: Ensiling characteristics, in vitro ruminal methane production, fermentation profile and microbiota. *Journal of Applied Microbiology*. 2022;132(2):907-918. doi: 10.1111/jam.15246
20. Coblenz WK, Akins MS. Nutritive value, silage fermentation characteristics, and aerobic stability of round-baled, alfalfa-grass forages ensiled at 2 moisture concentrations with or without a propionic-acid-based preservative. *Applied Animal Science*. 2021;37(2):89-105. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02128>
21. Dai T, Dong D, Wang S, Zong C, Yin X, Xu G, Jia Y, Shao T. Assessment of organic acid salts on fermentation quality, aerobic stability, and in vitro rumen digestibility of total mixed ration silage. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54(5):261. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03249-w>
22. Dong M, Li Q, Xu F, Wang S, Chen J, Li W. Effects of microbial inoculants on the fermentation characteristics and microbial communities of sweet sorghum bagasse silage. *Scientific Reports*. 2020;10(1):837. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57628-0>

23. Dong Z, Yuan X, Wen A, Desta ST, Shao T. Effects of calcium propionate on the fermentation quality and aerobic stability of alfalfa silage. *Asian-Australas J Anim Sci.* 2017;30(9):1278-1284. doi: 10.5713/ajas.16.0956
24. Ergin S, Gumus H. Silage quality, fermentation dynamics and chemical composition of alfalfa silage prepared with salt and lactic acid bacteria inoculants. *Animal Nutrition and Feed Technology.* 2020;20(3):367-380. doi: 10.5958/0974-181X.2020.00033.5
25. Guo G, Yuan X, Li L, Wen A, Shao T. Effects of fibrolytic enzymes, molasses and lactic acid bacteria on fermentation quality of mixed silage of corn and hulless-barley straw in the Tibetan plateau. *Grassland Science.* 2014;60(4):240-246. <https://doi.org/10.1111/grs.12060>
26. Kumari N, Chauhan N, Mishra DB, Tyagi N. Effect of bacterial inoculants and their combination with enzymes and chemical additives on fermentation characteristics and ensiling period of maize silage. *Range Management and Agroforestry.* 2023;44(1):167-174. doi: 10.59515/rma.2023.v44.i1.20
27. Kung LJr, Muck RE. Silage additives: Where are we going? Proceedings of the XVII international Silage Conference. Piracicaba, Sao Paulo, Brazil, 1-3 July 2015. Piracicaba: ESALQ;2015:72-81.
28. Lazarević D, Dordević N, Stevović V, Tomić D, Marković J, Jevtić G, Anđelković S. Effects of Additives and Mixing Alfalfa (*Medicago sativa* L.) with Red Clover (*Trifolium pratense* L.) at Different Ratios on Proteolysis, Fermentation Quality and Microbiota of Silage. *Romanian Agricultural Research.* 2025;42:941-951. doi: 10.59665/rar4280
29. Leistner L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International Journal of Food Microbiology.* 2000;55(1-3):181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
30. Li J, Li Z, Shang S, Zhao X, Zhang W, Zhang X, Guo K. Effect of additives and moisture on the fermentation quality and bacterial community of high moisture ear corn. *Frontiers in Microbiology.* 2023;14:1251946. doi: 10.3389/fmicb.2023.1251946
31. Liu EY, Wang S, Wang S, Khan NA, Zhou X, Tang S, Liu Y. Bacterial inoculants and enzymes based silage cocktails boost the ensiling quality of biomasses from reed, corn and rice straw. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture.* 2024;11(1):29. doi: 10.1186/s40538-024-00549-1
32. Marques BDS, Costa KADP, Silva LMD, Costa AC, Ferrari GC, de Lima JF, Oliveira FFP. Use of bacterial-enzymatic inoculant improves silage quality and reduces fermentation losses in intercropped systems. *Agriculture (Basel).* 2025;15(4):437. doi: 10.3390/agriculture15040437
33. Muck RE, Nadeau EMG, McAllister TA, Contreras-Govea FE, Santos MC, Kung JrL. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. *Journal of Dairy Science.* 2018;101(5):3980-4000. doi: 10.3168/jds.2017-13839
34. Pahlow G, Muck RE. Managing for improved aerobic stability. In: Broderick GA, Adesogan AT, Bocher LW, Bolsen KK, Contreras-Govea FE, Harrison JH, Muck RE, editors. XVth International Silage Conference Proceedings, July 27-29, 2009, Madison, Wisconsin. 2009:77-90.
35. Wang X, Li F, Cai X, Huang Y, Shi H. Exploring the combination of wilting and different types of additives to improve silage quality of highland alfalfa: Fermentation quality, nutritional values, molecular structural features, and ruminal degradability. *Animal Feed Science and Technology.* 2024;318:116123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116123>
36. Wilkinson JM, Davies DR. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. *Grass and Forage Science.* 2013;68(1):1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
37. Xie Y, Bao J, Li W, Sun Z, Gao R, Wu Z, Yu Z. Effects of applying lactic acid bacteria and molasses on the fermentation quality, protein fractions and in vitro digestibility of baled alfalfa silage. *Agronomy.* 2021;11(1):91. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010091>
38. Yang F, Wang Y, Zhao S, Wang Y. *Lactobacillus plantarum* inoculants delay spoilage of high moisture alfalfa silages by regulating bacterial community composition. *Frontiers in Microbiology.* 2020;11:1989. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01989>
39. You L, Bao W, Yao C, Zhao F, Jin H, Huang W, Li B, Kwok L, Liu W. Changes in chemical composition, structural and functional microbiome during alfalfa (*Medicago sativa*) ensilage with *Lactobacillus plantarum* PS-8. *Animal Nutrition.* 2022;9:100-109. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.004>

40. Yuan X, Wen A, Dong Z, Desta ST, Shao T. Effects of formic acid and potassium diformate on the fermentation quality, chemical composition and aerobic stability of alfalfa silage. *Grass Forage Sci.* 2017;72(4):833-839. <https://doi.org/10.1111/gfs.12296>
41. Zhao X, Zhou J, Tian R, Liu Y. Microbial volatile organic compounds: antifungal mechanisms, applications, and challenges. *Antifungal mechanisms, applications, and challenges. Frontiers in Microbiology.* 2022;13:922450. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.922450>

References

1. Bakach NG, Labotsky IM. The technical support of quality herbaceous fodder harvesting in trench storages. *Journal of VNIIMZH.* 2019;3(35):52-55.
2. Bikchantaev IT, Askarova AA. Efficacy of biological products in alfalfa preservation. *Achievements of Science and Technology in the Agro-industrial Complex.* 2019;33(11):18-21. doi: 10.24411/0235-2451-2019-11104
3. Volkova GS, Kuksova EV. Use of preservatives of various nature for feed preparation. *Effective Animal Husbandry.* 2020;3(160):124-125. doi: 10.24411/9999-007A-2020-00011
4. Ganushchenko O. Preservation of perennial legume herbs. *Animal Husbandry of Russia.* 2020;5:45-50. doi: 10.25701/ZZR.2020.80.94.018
5. State Standart 23153-78. Fodder production. Terms and definitions. Implementation date 01.07.1979. Moscow: Publishing standards; 1995:18 p.
6. Pobednov YuA, Mamaev AA, Osipyany BA, Kuchin IV, Yurtaeva KE. Study of factors determining aerobic stability of silage from corn harvested in the phase of waxy ripeness of the grain. *Problems of Productive Animal Biology.* 2021;1:87-94. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbil.2021.1.87-94
7. Klimenko VP, Kosolapov VM. Preparation of high-qualitative silage from fodder galega (*Galega orientalis* Lam.). *Achievements of Science and Technology in Agro-industrial Complex.* 2010;10:34-37.
8. Kosolapova EV, Kuchin NN, Kosolapov VV. Study of the influence of combined canning on the quality of fermentation during ensiling of sluggish green mass of goat's rue. *Bulletin of NGIEI.* 2024;8(159):17-31. doi: 10.24412/2227-9407-2024-8-17-31
9. Kuular MCh. Terminological analysis of the term «monograph». *Bibliosphere.* 2021;3:72-82. doi: 10.20913/1815-3186-2021-3-72-82
10. Lamanov A, Ermolaev S. Silostop: revolution in silo covering. *Animal Husbandry of Russia.* 2016;7:56-57.
11. Latysheva OV. On the most effective method of canning. *Effective Animal Husbandry.* 2021;3(169):53-54.
12. Klimenko VP, Kosolapov VM, Kosolapova VG, Yurtaeva KE. New biological preparation for alfalfa silage making. *Bulletin of the Russian Agricultural Science.* 2019;3:36-40. doi: 10.30850/vrsn/2019/3/36-40
13. Pobednov YuA, Mamaev AA, Ivanova MS, Yurtaeva KE. Alfalfa silage with lactic acid bacteria preparations. *Animal Husbandry and Fodder Production.* 2018;101(1):213-220.
14. Stepanova GV. Influence of weather conditions on chemical composition of dry matter of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) in the flowering phase. *Adaptive Fodder Production.* 2019;2:26-39. doi: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-26-39
15. Uskov GE, Tsopanova AV, Uskov IG. Chemical conservation of legume crops. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology.* 2017;5(3):52-58. doi: 10.14529/food170307
16. Auerbach H, Nadeau E. Effects of additive type on fermentation and aerobic stability and its interaction with air exposure on silage nutritive value. *Agronomy.* 2020;10(9):1229. doi: 10.3390/agronomy10091229

17. Bintsis T. Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics. *AIMS microbiology*. 2018;4(4):665-684. doi: 10.3934/microbiol.2018.4.665
18. Borreani G, Tabacco E, Schmidt RJ, Holmes BJ, Muck RA. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of dairy science*. 2018;101(5):3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
19. Chen L, Bao X, Guo G, Huo W, Li Q, Xu Q, Wang C, Liu Q. Evaluation of gallnut tannin and *Lactobacillus plantarum* as natural modifiers for alfalfa silage: Ensiling characteristics, in vitro ruminal methane production, fermentation profile and microbiota. *Journal of Applied Microbiology*. 2022;132(2):907-918. doi: 10.1111/jam.15246
20. Coblenz WK, Akins MS. Nutritive value, silage fermentation characteristics, and aerobic stability of round-baled, alfalfa–grass forages ensiled at 2 moisture concentrations with or without a propionic-acid-based preservative. *Applied Animal Science*. 2021;37(2):89-105. <https://doi.org/10.15232/aas.2020-02128>
21. Dai T, Dong D, Wang S, Zong C, Yin X, Xu G, Jia Y, Shao T. Assessment of organic acid salts on fermentation quality, aerobic stability, and in vitro rumen digestibility of total mixed ration silage. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54(5):261. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03249-w>
22. Dong M, Li Q, Xu F, Wang S, Chen J, Li W. Effects of microbial inoculants on the fermentation characteristics and microbial communities of sweet sorghum bagasse silage. *Scientific Reports*. 2020;10(1):837. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-57628-0>
23. Dong Z, Yuan X, Wen A, Desta ST, Shao T. Effects of calcium propionate on the fermentation quality and aerobic stability of alfalfa silage. *Asian-Australas J Anim Sci*. 2017;30(9):1278-1284. doi: 10.5713/ajas.16.0956
24. Ergin S, Gumus H. Silage quality, fermentation dynamics and chemical composition of alfalfa silage prepared with salt and lactic acid bacteria inoculants. *Animal Nutrition and Feed Technology*. 2020;20(3):367-380. doi: 10.5958/0974-181X.2020.00033.5
25. Guo G, Yuan X, Li L, Wen A, Shao T. Effects of fibrolytic enzymes, molasses and lactic acid bacteria on fermentation quality of mixed silage of corn and hullless-barley straw in the Tibetan plateau. *Grassland Science*. 2014;60(4):240-246. <https://doi.org/10.1111/grs.12060>
26. Kumari N, Chauhan N, Mishra DB, Tyagi N. Effect of bacterial inoculants and their combination with enzymes and chemical additives on fermentation characteristics and ensiling period of maize silage. *Range Management and Agroforestry*. 2023;44(1):167-174. doi: 10.59515/rma.2023.v44.i1.20
27. Kung LJr, Muck RE. Silage additives: Where are we going? Proceedings of the XVII international Silage Conference. Piracicaba, Sao Paulo, Brazil, 1-3 July 2015. Piracicaba: ESALQ;2015:72-81.
28. Lazarević D, Dordević N, Stevović V, Tomić D, Marković J, Jevtić G, Anđelković S. Effects of Additives and Mixing Alfalfa (*Medicago sativa* L.) with Red Clover (*Trifolium pratense* L.) at Different Ratios on Proteolysis, Fermentation Quality and Microbiota of Silage. *Romanian Agricultural Research*. 2025;42:941-951. doi: 10.59665/rar4280
29. Leistner L. Basic aspects of food preservation by hurdle technology. *International Journal of Food Microbiology*. 2000;55(1-3):181-186. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(00\)00161-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(00)00161-6)
30. Li J, Li Z, Shang S, Zhao X, Zhang W, Zhang X, Guo K. Effect of additives and moisture on the fermentation quality and bacterial community of high moisture ear corn. *Frontiers in Microbiology*. 2023;14:1251946. doi: 10.3389/fmicb.2023.1251946
31. Liu EY, Wang S, Wang S, Khan NA, Zhou X, Tang S, Liu Y. Bacterial inoculants and enzymes based silage cocktails boost the ensiling quality of biomasses from reed, corn and rice straw. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2024;11(1):29. doi: 10.1186/s40538-024-00549-1
32. Marques BDS, Costa KADP, Silva LMD, Costa AC, Ferrari GC, de Lima JF, Oliveira FFP. Use of bacterial-enzymatic inoculant improves silage quality and reduces fermentation losses in intercropped systems. *Agriculture (Basel)*. 2025;15(4):437. doi: 10.3390/agriculture15040437

33. Muck RE, Nadeau EMG, McAllister TA, Contreras-Govea FE, Santos MC, Kung JrL. Silage review: Recent advances and future uses of silage additives. Journal of Dairy Science. 2018;101(5):3980-4000. doi: 10.3168/jds.2017-13839
34. Pahlow G, Muck RE. Managing for improved aerobic stability. In: Broderick GA, Adesogan AT, Bocher LW, Bolsen KK, Contreras-Govea FE, Harrison JH, Muck RE, editors. XVth International Silage Conference Proceedings, July 27-29, 2009, Madison, Wisconsin. 2009:77-90.
35. Wang X, Li F, Cai X, Huang Y, Shi H. Exploring the combination of wilting and different types of additives to improve silage quality of highland alfalfa: Fermentation quality, nutritional values, molecular structural features, and ruminal degradability. Animal Feed Science and Technology. 2024;318:116123. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.116123>
36. Wilkinson JM, Davies DR. The aerobic stability of silage: key findings and recent developments. Grass and Forage Science. 2013;68(1):1-19. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2012.00891.x>
37. Xie Y, Bao J, Li W, Sun Z, Gao R, Wu Z, Yu Z. Effects of applying lactic acid bacteria and molasses on the fermentation quality, protein fractions and in vitro digestibility of baled alfalfa silage. Agronomy. 2021;11(1):91. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010091>
38. Yang F, Wang Y, Zhao S, Wang Y. Lactobacillus plantarum inoculants delay spoilage of high moisture alfalfa silages by regulating bacterial community composition. Frontiers in Microbiology. 2020;11:1989. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01989>
39. You L, Bao W, Yao C, Zhao F, Jin H, Huang W, Li B, Kwok L, Liu W. Changes in chemical composition, structural and functional microbiome during alfalfa (*Medicago sativa*) ensilage with *Lactobacillus plantarum* PS-8. Animal Nutrition. 2022;9:100-109. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.12.004>
40. Yuan X, Wen A, Dong Z, Desta ST, Shao T. Effects of formic acid and potassium diformate on the fermentation quality, chemical composition and aerobic stability of alfalfa silage. Grass Forage Sci. 2017;72(4):833-839. <https://doi.org/10.1111/gfs.12296>
41. Zhao X, Zhou J, Tian R, Liu Y. Microbial volatile organic compounds: antifungal mechanisms, applications, and challenges. Antifungal mechanisms, applications, and challenges. Frontiers in Microbiology. 2022;13:922450. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.922450>

Информация об авторе:

Елена Валентиновна Косолапова, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», Нижегородский государственный инженерно-экономический университет, 606340, г. Княгинино, ул. Октябрьская, 22а, тел.: 89101385897.

Information about the authors:

Elena V Kosolapova, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University, 22a Oktyabrskaya St., Knyaginino, 606340, tel.: 89101385897.

Статья поступила в редакцию 11.04.2026; одобрена после рецензирования 24.06.2026; принята к публикации 14.09.2026.

The article was submitted 11.04.2026; approved after reviewing 24.06.2026; accepted for publication 14.09.2026.