

УДК 636. 085. 51

DOI: <https://doi.org/10.33814/AFP-2222-5366-2023-3-69-87>

## ПРОБЛЕМА АЭРОБНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ЗАГОТОВКЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ КУКУРУЗНОГО СИЛОСА

**Н.Н. Кучин**, доктор сельскохозяйственных наук

*ГБОУ ВО Нижегородский инженерно-экономический университет  
606340, Россия, Нижегородская область, г. Княгинино, ул. Октябрьская, д. 22А  
[ngiei-126@mail.ru](mailto:ngiei-126@mail.ru)*

## PROBLEM OF AEROBIC STABILITY IN THE HARVESTING AND USE OF CORN SILOS

**N.N. Kuchin**, Doctor of Agricultural Sciences

*State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
Nizhny Novgorod University of Engineering and Economics  
606340, Russia, Nizhny Novgorod region, Knyaginino, Oktyabrskaya str., 22A  
[ngiei-126@mail.ru](mailto:ngiei-126@mail.ru)*

Одной из важнейших проблем сохранения кукурузного силоса является его аэробная стабильность в процессе заготовки, хранения и использования. Она зависит от срока и высоты скашивания растений, степени измельчения, плотности трамбовки, герметичности укрытия, продолжительности хранения и темпов выборки при скармливании. Порча силоса от аэробной нестабильности приводит к большим потерям корма и к приобретению свойств, опасных для здоровья животных. Лучшим сроком уборки кукурузы на силос считается фаза восковой спелости зерна, в которую в растениях содержится оптимальное для силосования количество сухого вещества и максимальный выход и концентрация в нем питательных веществ. Чтобы повысить питательную ценность кукурузного силоса увеличивают высоту скашивания растений. Однако при этом следует считаться со снижением урожая травостоя. Степень измельчения растений варьирует в зависимости от влажности сырья: чем выше влажность, тем большей должна быть величина частиц силосуемой массы. Вместе с тем наибольший их размер не должен превышать 20 мм. Для исключения аэробной нестабильности силосная масса должна быть плотно уложена и герметично укрыта. Разгерметизация силоса для скармливания предполагает такие темпы выборки, которые исключают аэробную порчу. Они дифференцированы в зависимости от сезона использования корма: большие при скармливании силоса в летний период и меньшие зимой.

**Ключевые слова:** кукурузный силос, аэробная стабильность, сроки уборки, высота скашивания, степень измельчения, уплотнение, герметизация, темпы скармливания.

One of the most important problems of preserving corn silage is its aerobic stability in the process of harvesting, storage and using. It depends on the term and mowing height of plants, the milling degree, and the compaction of ramming, the hermetic nature of shelter, the duration of storage and the sampling rate during feeding. Spoilage of silage from aerobic instability leads to large losses of feed and the acquisition of properties dangerous to animal health. The best time for harvesting corn for silage is the phase of waxy

ripeness of grain, in which plants contain the optimal amount of dry matter for silage and the maximum yield and concentration of nutrients in it. To increase the nutritional value of corn silage, the mowing height of plants is increased. However, the decrease in the yield of grass stand should be taken into account. The milling degree of plants varies depending on the moisture content of the raw material: the higher the moisture content, the larger particles size of silage mass should be. However, their largest size should not exceed 20 mm. To exclude aerobic instability, the silage mass must be compactly packed and sealed. Unsealing of the silage for feeding assumes such sampling rates that exclude aerobic spoilage. They are differentiated depending on the season of feed use: large when feeding silage in summer and smaller in winter.

**Keywords:** corn silage, aerobic stability, harvesting time, mowing height, milling degree, compaction, sealing, feeding rates

Исключительную важность объемистых кормов для кормления скота нет необходимости доказывать. Особенно ценным, благодаря высокому содержанию энергии и перевариваемости, является кукурузный силос. Кукуруза может успешно силосоваться во все фазы вегетации вследствие своего химического состава. Однако в зависимости от фазы развития качество получаемого из нее силоса по аэробной стабильности, потерям питательных веществ, наличию и соотношению кислот брожения, поедаемости и питательности может существенно различаться [1].

Основной проблемой при заготовке и использовании силоса из кукурузы при уборке культуры на разных стадиях созревания зерна является предохранение его от аэробного разложения, которое возникает при проникновении воздуха в толщу корма, то есть придание ему аэробной устойчивости.

Под аэробной стабильностью (устойчивостью) подразумевается время, в течение которого силос не портится после того, как он попал под воздействие воздуха, то есть разгерметизировался [2]. Критерием, по которому определяют аэробную стабильность силоса, является время, в течение которого температура

силоса остается без изменений. Согласно Регламенту Комиссии ЕС № 429/2008 (DLG-Richtlinien für die Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gutezeichentauglichkeit, DLG Oktober 2013), чем дольше температура силоса не превосходит температуру окружающей среды более чем на 3 °С, тем выше аэробная устойчивость и качество корма.

В процессе закладки силоса причинами аэробной нестабильности могут стать поздний срок уборки, завышенная длина резки, недостаточное уплотнение и плохое укрытие силоса, а при его использовании — низкая скорость выборки или ее приостановка [3].

На качество и аэробную стабильность силоса из кукурузы существенно влияет срок ее уборки. Чем позднее кукуруза убирается на силос, тем выше выход питательных веществ с единицы площади и, следовательно, питательность приготовленного из нее силоса [1]. Наивысшей питательной ценности она достигает в фазу восковой спелости зерна. При уборке в этот срок в 1 кг ее сухого вещества содержится 11,1–11,5 МДж обменной энергии в сравнении с 10,1–10,5 МДж при других стадиях спелости зерна.

Минимальные потери при силосова-

нии и высокую поедаемость кукурузный силос имеет при приготовлении его из сырья с содержанием 30–35% сухого вещества. В зависимости от конструкции силосохранилищ содержание сухого вещества может находиться и в более широких пределах. Следует отметить, что в фазу восковой спелости зерна содержание сухого вещества в кукурузе варьирует в пределах 32–38%, то есть практически в оптимальных размерах для благоприятного брожения при силосовании. Более ранняя уборка, когда в растениях содержится меньше 30% сухого вещества, приводит к недобору питательных веществ, развитию нежелательного маслянокислого брожения и потерям питательных веществ с вытекающим соком, более поздняя — снижает выход питательных веществ и ухудшает силосуемость (риск нагревания и плесневения из-за сложности уплотнения) [1; 3; 4–7]. Слабое уплотнение становится причиной аэробной нестабильности силоса.

Вместе с тем и в оптимальный для проведения силосования срок уборки кукуруза имеет ряд нежелательных свойств. К этому сроку успевают сильно огрубеть нижние части стеблей и стержни початков. К тому же 15–18% зерна плохо переваривается скотом, потому что оно достигает физиологической или технической спелости. При таких сроках уборки кукурузы на силос возникает необходимость в использовании корнкрекера (до измельчителя, плющилки зерна), так как высокопродуктивным скотом переваривание даже расплюснутых зерен часто является проблематичным. В идеале, зерно должно быть полностью раздроблено [1; 8].

При поздних сроках уборки кукуру-

зы на силос (фаза восковой спелости зерна) в нижней части стебля содержится больше клетчатки и влаги, меньше усвояемой энергии. Помимо того, эта часть стебля имеет самую высокую концентрацию нитратов. При рекомендуемой высоте скашивания (10–15 см над уровнем почвы) существенно снижается качество корма и его безопасность [7; 9; 10].

Увеличение высоты среза растений кукурузы при уборке на силос рассматривается как мера регулирования сроков уборки, влажности силосуемого сырья, питательной ценности готового корма и его аэробной стабильности. С этой целью растения срезают выше третьего междоузлия, примерно на высоте 35–45 см от уровня почвы. Такая силосная масса отличается лучшей усвояемостью нейтрально детергентной клетчатки (примерно на 5%) и более высоким содержанием крахмала, а следовательно, и повышенной энергетической ценностью. В расчете на каждые оставленные в поле 10 см стерни приходится 1% повышения содержания сухого вещества, а в каждом его килограмме — +0,2 МДж чистой энергии лактации. Кормление таким силосом увеличивает надои молока и не снижает его жирности, если в рацион включены корма с высоким содержанием клетчатки [6; 9].

Негативной стороной увеличения высоты скашивания силосуемой кукурузы является снижение продуктивности посевных площадей и объема заготовляемого корма. По разным оценкам, размер снижения выхода силоса колеблется от 7,4 до 15,0% [7; 9–11]. В результате выход молока с единицы посевной площади также снижается на 2–12% [7]. В

некоторых случаях силос из кукурузы, скошенной на высоком срезе, может повысить производство молока, но снизить содержание молочного жира, и общая экономическая выгода от его использования будет либо отрицательной, либо слабо положительной [12]. Сведение к минимуму снижения содержания молочного жира имеет решающее значение. Помимо этого, при более высоком скашивании кукурузы в силосной массе повышается содержание сухого вещества, и она труднее уплотняется, что может привести к аэробной нестабильности заготавливаемого силоса. Чтобы снизить негативное влияние высокого скашивания на аэробную стабильность кукурузного силоса предлагается скашивать растения на 2–5 дней раньше при высоте среза 30 см или на 5–13 дней — при высоте 60 см [13].

Основываясь на результатах проведенных опытов, исследователи приходят к выводу, что высокий срез кукурузы оправдан только тогда, когда силос предназначен для кормления высокопродуктивных коров и, следовательно, подходит не для всех хозяйств [9]. В каждом конкретном случае высота среза должна определяться индивидуально для каждого хозяйства путем расчета экономических последствий ее изменения. Так, по данным университета Пенсильвании [цит. по 11], для большинства хозяйств величина 25 см над уровнем почвы является стандартной высотой среза кукурузы. При выборе оптимального размера этой величины не рекомендовано выходить за пределы 60 см.

Степень измельчения сырья для силосования влияет на плотность укладки силосуемой массы на хранение или

аэробную стабильность, а также на его потребление и продуктивное действие при скармливании силоса [6; 8; 14]. Чем суше силосуемый материал, тем короче он должен измельчаться [3]. При оптимальной влажности силосуемой кукурузы (30–35% сухого вещества) рекомендуется измельчать растения на частички размером 5–8 мм, что способствует более плотной укладке сырья на хранение (до 25% в сравнении с 21 мм) и понижает опасность повторного нагревания и порчи силоса. Это улучшает потребление корма и повышает надои или приросты на откорме. По другим данным [1; 6], при такой влажности длина отрезков кукурузы может достигать до 10 мм при дроблении зерна на частицы не крупнее 5 мм. При более ранних сроках или плохих погодных условиях во время уборки урожая для сохранения структуры силоса размер частиц силосуемой кукурузы должен быть увеличен до 8–15 мм [8]. Вместе с тем размер измельчения кукурузы на силос не должен превышать 20 мм, так как при больших размерах резки ухудшается сохранность силоса. Кроме того, животные охотнее пережевывают частички размером 10–20 мм и хуже — при увеличении их размера [5].

К другим преимуществам короткой резки относят уменьшение транспортных расходов при ее перевозках, улучшение процесса ферментации за счет преобладания молочнокислого брожения благодаря повышению выделения клеточного сока. В таком силосе отмечается низкая активность дрожжей и снижение потерь белка; увеличение количества кислот брожения, улучшающих аэробную стабильность силоса. При его заготовке наблюдаются меньшие потери энергии и

лучшие вкусовые качества корма. При скармливании мелкофракционного кукурузного силоса потери корма снижались на 30%, что равноценно увеличению объемов производства животноводческой продукции на 10–17% [4].

Обоснование необходимости увеличения длины резки силосуемой кукурузы его сторонниками строится на том, что этим обеспечивается лучшая действенность клетчатки силоса, следствием чего является высокий рН рубца в результате более длительного пережевывания корма и снижение риска заболевания ацидозом. В последние годы такой риск особенно усиливается из-за увеличения, вследствие интенсивной селекции, в современных сортах кукурузы содержания крахмала. Мелкая резка кукурузы с размалыванием зерен и заготовка из нее силоса создает реальную опасность пагубного воздействия корма на рубец при скармливании коровам рационов с высокой долей такого силоса [1].

Вместе с тем следует учитывать, что теоретическая длина резки, устанавливаемая на современных силосоуборочных комбайнах, плохо совпадает с практической. При теоретической величине длины резки 4,8 и 22,3 мм фактическая средняя длина составила соответственно 6,8 и 7,9 мм (разница 1,1 мм), а при 19 и 32 мм (с двухмиллиметровым измельчителем зерен) — 9,3 и 9,7 мм (разница — 0,4 мм). При скармливании силосов дойным коровам в составе сбалансированных рационов, в которых их доля составляла от 50,0 до 54,4%, усвоение сухого вещества при уменьшении длины резки увеличивалось. Снижение содержания сухого вещества при увеличении длины резки кормовой кукурузы приво-

дило к ухудшению усвоения энергии и незначительному снижению надоев. Разная длина частиц кукурузного силоса не оказывала никакого влияния на процессы брожения в рубце и значение рН.

Под проблему увеличения длины резки в США разработана и принята специальная программа заготовки кукурузного силоса из целых растений, получившая название «измельчение». Суть этой программы заключается в том, что кукуруза убирается самоходным кормоуборочным комбайном, оснащенным вальцами с поперечными канавками. В процессе уборки самоходный кормоуборочный комбайн устанавливается на большую теоретическую длину резки от 26 до 30 мм по сравнению с обычно применяемой (6–10 мм). Установлено [15], что увеличение длины частиц сырья не оказывает заметного влияния на качество брожения, но уменьшает способность уплотнять более крупную резку.

В Германии проведено исследование [16] влияния нового способа уборки кукурузы на качество брожения, плотность укладки и аэробную стабильность силоса по сравнению с кукурузным силосом, заготовленным традиционным способом. Новая система заготовки силоса приводила к сопоставимым с традиционной параметрам брожения. Повышение степени трамбовки более крупных частиц не устраняло ухудшения их уплотнения. Предотвратить аэробное ухудшение при скармливании такого корма, особенно в теплое время года, возможно лишь при соответствующих темпах выборки.

В дальнейших исследованиях, проведенных на исследовательской станции Футтеркамп (Шлезвиг-Гольштейн) [17], кукурузу на силос убирали с помощью

самоходного кормоуборочного комбайна (John Deere 8500i), оснащенного многоножевой режущей головкой и двумя различными конструкциями вальцов: обратно-пилообразной и перевернуто-пилообразной со спиральной канавкой. Длина измельчения составляла 3, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23, 26 и 29 мм, а влажность сырья — 27–31, 31–35, 35–39 и 39–43%.

Результаты проведенных исследований показали, что доступность крахмала из силоса зависит не от конструкции вальцов, а от установления между ними минимального зазора в 1 мм в сочетании с дифференциальной скоростью вальцов не менее 40% от номинальной. Этим обеспечивается превосходная обработка зерна при всех диапазонах длины резки и стадиях зрелости растений кукурузы. Аэробная стабильность силоса и доступность крахмала повышались с увеличением содержания сухого вещества в сырье. Оптимальная степень уплотнения сырья, особенно кукурузы на поздних стадиях спелости зерна, устраняла влияние на качество силоса стадии зрелости, длины резки и конструкции вальцов.

Содержание сухого вещества и длина измельчения усложняют уплотнение и обеспечение качества корма, включая аэробную стабильность. Вполне закономерно образование в таком силосе большего количества этилового спирта и большие потери сухого вещества. Содержание уксусной кислоты было более высоким в основном в силосе из кукурузы на ранних стадиях зрелости зерна, что, однако, не оказало заметного влияния на аэробную стабильность, вероятно, вследствие того, что на этот показатель оказывает влияние не содержание

уксусной кислоты, а ее массовая доля в общем количестве кислот брожения.

В другом исследовании [6] было установлено, что на продуктивность коров большее влияние оказывает сорт кукурузы, а не длина резки. При скармливании рационов, на 75% состоящих из силосов двух сортов кукурузы с размером частиц 5 и 13 мм (без измельчения зерна) и на 25% из концентрированного корма, более высокие надои имели коровы, которым скармливали силос из скороспелого сорта кукурузы в сравнении со среднеранним.

Плотность укладки силосуемой массы на хранение и ее аэробная стабильность зависят от степени трамбовки. Чтобы обеспечить оптимальное уплотнение силосуемого сырья трамбуемый трактор нельзя оборудовать сдвоенными колесами. Давление в шинах должно быть выше 2,5 бар, а рабочая скорость техники в траншее не должна превышать 4 км/час. Важно каждый слой травяной массы равномерно распределить по траншее и три–четыре раза утрамбовать. Для равномерного распределения привезенной массы тонким слоем траншея должна иметь длину не менее 30 м, а толщина трамбуемого слоя не должна превышать 30 см. Для того, чтобы в силосной траншее параллельно могли работать две машины, ее минимальная ширина должна быть более 7 м.

Существует определенная зависимость глубины проникновения кислорода воздуха от плотности укладки силосуемой массы на хранение. По данным Лозанда [цит. по 3], плотность укладки 150 кг сухого вещества (СВ)/м<sup>3</sup> позволяет воздуху проникать в силосуемую кукурузу на глубину от 45 до 80 см в день,

плотность 210 кг СВ/м<sup>3</sup> — на 25–40 см и плотность 270 кг СВ/м<sup>3</sup> — на 15–20 см. Иными словами, высокая плотность укладки силоса снижает глубину проникновения воздуха, то есть повышает аэробную стабильность.

Попадание дождевой воды, а с ней и кислорода в силос, можно исключить путем укрытия стенок траншеи полиэтиленовой пленкой толщиной 120–160 мкм. Для того чтобы после открытия силоса в него попадало как можно меньше воздуха, плотность укладки при содержании в сырье 28% сухого вещества должна составлять 230 кг/м<sup>3</sup> сухого вещества или 840 кг/м<sup>3</sup> свежей массы, при 33% — 270 или 820, при 35% — 290 или 830 и при 38% — 320 или 840 кг/м<sup>3</sup>. Такую плотность укладки можно обеспечить при условии, если масса всей техники, работающей в траншее, будет составлять  $\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{3}$  от привозимой в течение часа силосной массы [6]. Более тщательно нужно уплотнять массу по краям силосной траншеи. Верхний слой сырья должен быть измельчен до частиц размером не более 8 мм для того, чтобы обеспечить нужную степень уплотнения [3]. Для устранения проникновения воздуха в ранее уложенную массу ежедневно в траншею следует укладывать слой не менее 80 см в уплотненном виде [1].

Важнейшим условием обеспечения аэробной стабильности во время хранения силоса является тщательная изоляция силосуемой массы от проникновения воздуха после завершения закладки корма. После того, как прибыла последняя машина с сырьем, трамбовка массы должна ограничиваться 1–1,5 часами. Затем траншея сразу же закрывается пленкой. При этом важно использовать два

слоя пленки для исключения попадания воздуха в силос в течение всего периода хранения. Первый тонкий слой (40–50 мкм) плотно прилегает к поверхности массы, обеспечивая герметичность хранилища. Второй слой черно-белой силосной пленки (120–150 мкм и более) защищает силос от дождей, солнца и животных, усиливая воздухо непроницаемость хранилища. Также обязательно укладывать пленку и на всю длину боковых стен. Для улучшения герметичности пленку желательнее склеивать в полотнища липкой лентой шириной 8–10 см. Защитная сетка, укладываемая поверх пленки, уберегает ее от повреждения. Сверху помещается груз, например, мешки с песком, для закрепления пленки в два ряда у боков траншеи и через каждые 5 м поперек нее [3; 5; 6]. Такое укрытие надежно предохраняет корм от порчи.

Задержка с герметизацией силосуемой массы приводит к ограничению образования молочной кислоты и замене молочнокислого брожения на маслянокислое. Это создает условия для развития дрожжей и грамотрицательных бактерий с последующим разложением силоса [18].

Рост микроорганизмов, вызывающих порчу, можно ограничить, а потери питательных веществ снизить при укрытии силоса пленками с низкой кислородопроницаемостью. В условиях Бразилии на экспериментальной ферме Государственного университета Маринга были проведены исследования [19] по оценке преимуществ укрытия силоса кислородонепроницаемой пленкой (Silostop) путем замены обычной полиэтиленовой пленки на такую же пленку, но обработанную этиленвиниловым спиртом. Ку-

курузу для силосования убирала в середине стадии молочно-восковой спелости зерна (31% сухого вещества) прицепным кормоуборочным комбайном и укладывали одновременно в два 30-тонных силосохранилища без добавок. Нейлоновые мешки, наполненные измельченным кормом (500 г), при заполнении хранилища закапывали в верхний (глубина 15 см от поверхности), средний (глубина 75 см) и нижний (глубина 135 см) слои силоса. Оба силосохранилища были вскрыты после 93 дней хранения.

В проведенном исследовании было подтверждено ранее установленное положение [20], что пленки с барьером для кислорода отличаются меньшей его проницаемостью по сравнению со стандартными полиэтиленовыми пленками. Укрытие силоса такими пленками ограничивало рост дрожжей, снижало температуру силоса и потери сухого вещества при хранении, особенно в верхнем 15-сантиметровом слое. Вместе с тем в обоих случаях не было отмечено визуальных признаков порчи силоса, что может быть связано с его защитой от УФ-излучения и хорошими темпами выборки во время скармливания ( $> 12$  см/день). Кроме того, риск аэробной порчи мог быть снижен образованием в процессе силосования противогрибковых соединений, таких как уксусная кислота, при относительно низком содержании сухого вещества в сырье [21]. Существенных различий в показателях роста откармливаемых бычков, которых кормили кукурузным силосом, не наблюдалось из-за отсутствия признаков порчи и относительно низкой доли этого корма (40%) в сухом веществе рациона.

Причина аэробной нестабильности кукурузного силоса заключается, прежде всего, в высокой концентрации в нем остаточного сахара. Причем наиболее восприимчивым к аэробной порче считается силос из кукурузы в фазе восковой спелости зерна [22]. Кукуруза в этой стадии спелости в Нечерноземной зоне на силос убирается в начале осени. В это время на ней фиксируется максимальная численность эпифитных молочнокислых бактерий ( $> 10^5$  КОЕ в 1 г). Причем все они представлены одной высокоактивной палочкой *Lactobacillus plantarum*, которая в наибольшей степени пригодна к брожению на массе с высоким содержанием сухого вещества [23].

Подкисление такого сырья обеспечивается незначительным количеством молочной кислоты, получаемой при ограниченном брожении с сохранением значительного количества сахара. Проникновение воздуха в такой силос стимулирует развитие дрожжей, аэробных бактерий и плесневых грибов. К основным видам дрожжей относятся *Candida*, *Hansenula*, *Pichia*, и *Saccharomyces* [24; 25]. С ростом численности дрожжей связывают инициацию процесса аэробной порчи кукурузного силоса. При наличии сахара они активно размножаются [26].

По мнению Woolford [27], склонным к аэробной порче силос становится тогда, когда количество дрожжей в нем увеличивается до более чем  $5 \log$  КОЕ/г корма. Силос из кукурузы восковой спелости на момент вскрытия силосохранилищ становится нестабильным при выемке, когда в нем содержится  $10^4$ – $10^5$  КОЕ дрожжей/г [28].

Условия для возникновения аэробной порчи силоса создаются при нарушении



герметичности хранилищ [21; 29–31]. Однако при недостаточно надежной герметизации воздух в силос может проникать и в процессе хранения [19].

При проникновении воздуха в силос начинают активно размножаться дрожжи, для которых в кукурузном силосе созданы идеальные условия благодаря достаточному количеству питательных веществ, тепла и влаги. В этих условиях кислотоустойчивые дрожжи и бактерии потребляют сахар и органические кислоты, в первую очередь молочную, консервирующие силос. При этом появляется возможность полного окисления продуктов метаболизма до  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ , и тем самым для дрожжей открывается практически неисчерпаемый источник энергии. В результате окисления микроорганизмами кислот и водорастворимых углеводов до диоксида углерода и воды температура большинства аэробно-скоропортящихся силосов, таких как кукурузный, становится выше, чем у окружающей среды. Вследствие этого повышается рН силоса и инициируются аэробные процессы порчи [32; 33].

В процессе жизнедеятельности дрожжей происходит повышение температуры и ухудшение органолептических качеств вследствие накопления патогенов и микотоксинов, создающих риски для здоровья людей и животных. В результате увеличиваются потери сухого вещества и снижается его потребление, что, в свою очередь, обусловлено падением питательной ценности силоса [32; 34–37]. Поэтому в настоящее время, прежде всего в зарубежной практике силосования, особое внимание уделяется устранению или замедлению развития дрожжей, плесневых грибов и маслянокислых

бактерий при выемке силоса в результате его аэрирования кислородом воздуха, или обеспечению аэробной стабильности силосованного корма [38].

Вместе с тем не любые виды дрожжей и не в любых условиях делают силос аэробно нестабильным. В некоторых случаях даже более высокое их содержание ( $>1 \cdot 10^5$  КОЕ/г) при воздействии воздуха не нарушает стабильности силосов. Из 18 штаммов дрожжей, относящихся к семи видам, выделенных из четырех различных кукурузных силосов и изученных в условиях Германии [39], высокий риск для аэробной стабильности силоса, по результатам экспериментов по культивированию, показали лишь *P. kudriavzevii*, *P. fermentans*, *C. ethanolica*, *C. humilis* и *K. exigua* [40].

Среди патогенов аэробного силоса потенциально опасным является *Listeria monocytogenes*. Это патоген пищевого происхождения, который оказывает отрицательное влияние на сыропригодность молока. В исследованиях Е. Табаччо et al. [29] кукурузного силоса, отобранного в центральных и периферийных зонах силосохранилищ из 18 молочных ферм Италии, было установлено, что испорченные поверхности кукурузного силоса могут стать одним из основных источников прямого заражения видами *L. innocua* и *L. monocytogenes* из состава смешанного рациона, скармливаемого молочным коровам.

Потенциальную опасность для консервированного молока и молочных продуктов представляет также появление в силосе спор *Paenibacillus* и *Clostridium*, которые могут выжить при переработке молока и производстве сыра, впоследствии прорасти и нанести

ущерб [41]. Аэробная порча силоса способствует прорастанию и активному размножению этих бактерий. Прогрессивные технологии заготовки силоса способны уменьшить количество испорченного корма и снизить риск заражения спорами *Clostridium spp.* и *Paenibacillus spp.* на всех этапах цепочки производства молока [42].

Бактерии рода *Acetobacter*, продуцирующие уксусную кислоту, наряду с дрожжами присутствуют в силосе во время его раннего скармливания и разлагают молочную кислоту [31; 43].

О начале интенсивной аэробной порчи силоса достаточно надежно и достоверно можно судить по данным о наличии в нем кислорода и углекислого газа, а также молочной и масляной кислот. Следует отметить, что кислород в составе воздуха изначально содержится в силосуемой массе. В 1 кг сухого вещества такой массы при 30%-ном его содержании содержится один литр воздуха. Однако этот литр после двух–трех часов герметизации полностью используется микроорганизмами и растительными клетками. При содержании в растениях более 35% сухого вещества содержание воздуха в силосуемой массе увеличивается до 2–4 литров. В этом случае время его поглощения микроорганизмами и менее активными растительными клетками значительно увеличивается, поэтому и нежелательные процессы брожения в сырье проходят дольше [5].

В доброкачественном силосе при надежной изоляции от доступа воздуха силосные газы на 85% и более состоят из углекислого газа, а кислорода в их составе быть не должно. Массовая доля молочной кислоты превышает 60% от

суммы кислот брожения, а масляной не должно быть.

Снижение содержания в силосной массе углекислого газа до 65% и обнаружение кислорода воздуха в количестве 0,2% можно считать началом аэробного поражения корма при поступлении воздуха. Этого достаточно для того, чтобы ферментативная система дрожжей переключилась на регулирование процесса дыхания. Незначительное уменьшение концентрации молочной кислоты за счет ее окисления с образованием уксусной отмечается при снижении содержания углекислого газа до 60% и повышении концентрации кислорода до 0,5%.

При дальнейшем поступлении воздуха содержание углекислого газа в силосном газе снижается до 48–50%, а концентрация кислорода достигает 0,7–0,8%. В этих условиях соотношение молочной и уксусной кислот выравнивается. При снижении содержания углекислого газа до 45% и наличии кислорода свыше 1,0% начинает происходить образование масляной кислоты [38], а при снижении концентрации углекислого газа в силосном газе до 35–36% и повышении содержания кислорода до 5% — интенсификация ее при резком снижении содержания молочной кислоты. Из-за расхода продуктов брожения рН силоса повышается. Как только значение рН поднимется выше 4,5, на нем начинает расти большое количество других аэробных микроорганизмов, которые вызывают еще больший разогрев и еще большую порчу силоса [44].

Независимо от степени дальнейшего аэрирования содержание углекислого газа в силосе остается практически неизменным (в пределах 35%), а содержание

кислорода возрастает до 7%. Признаком полной порчи силоса является выделение газа со зловонным запахом в результате образования вредных и ядовитых продуктов распада белка и масляной кислоты [38].

При доступе воздуха, даже при неукоснительном соблюдении правил силосования, при выемке силоса из кукурузы восковой спелости зерна из хранилищ потери от аэробной порчи достаточно велики (до 9,6%) [45]. В результате корм раскисляется, а физико-химические условия становятся более благоприятными для возобновления роста других нежелательных микроорганизмов.

Аэробная нестабильность силоса имеет прямую зависимость от количества в силосе сухого вещества и дрожжей и обратную — от содержания уксусной и масляной кислот [46]. Однако высокое содержание масляной кислоты указывает на активность клостридий, связанную со значительными потерями питательных веществ и проблемами со здоровьем у животных. Пропионовая кислота в силосе присутствует редко и в небольших количествах из-за малой концентрации микроорганизмов, ее производящих, и низкой их конкурентоспособности.

Кукурузный силос можно начинать скармливать животным через 4–6 недель после закладки. Вскрытие хранилища инициирует активизацию жизнедеятельности дрожжей, плесени и другой аэробной микрофлоры, что приводит к нагреванию массы и потерям сухого вещества [5]. Чтобы этого не происходило необходимо обеспечивать соответствующую скорость выемки. По данным Х. Нусбаума [цит. по 47], зимой из хранилищ по всей ширине еженедельно следует

выбирать не менее 1–1,5 метров силоса, летом — 2–2,5 метра. Более медленная выемка приводит к нагреванию силоса и потерям энергии, снижению потребления корма животными. При этом гладкая площадь среза и равномерная выемка по всей площади (с помощью фрезы) играет хотя и важную, но второстепенную роль, а главная принадлежит достаточной скорости выемки. Для предотвращения парникового эффекта срез должен оставаться открытым [3; 6].

Вместе с тем, по мнению I. De Oliveira et al. [48], норма выборки в расчете на квадратный метр более надежный показатель для оценки размера потерь, поскольку учитывает плотность силоса. Риск порчи кукурузного силоса, по их данным, снижается, если с 1 м<sup>2</sup> в день выбирается от 250 до 375 кг. Выборка более 375 кг силоса/день исключает порчу силоса. Для обнаружения аэробной порчи кукурузного силоса также можно использовать разницу рН между фактическим и эталонным силосом в сочетании с разницей температур. Значение разницы рН выше 0,25 указывает на то, что может начаться ухудшение аэробных свойств [49].

Причиной аэробной нестабильности может стать достаточно распространенная практика животноводства в разных регионах мира — перемещение кукурузного силоса, связанное либо с его продажей, либо с перевозкой к местам скармливания, расположенным на значительном расстоянии от силосохранилища [50]. Перемещение силоса, подверженного аэробной порче, приводит к увеличению популяций дрожжей и ухудшению его качества [51]. Для предотвращения такого развития событий,

по мнению А.С. do Rêgo et al. [52], важно знать влияние времени воздействия воздуха при перемещении и применении микробных инокулянтов на количество молочнокислых бактерий, дрожжей и плесени, а также аэробную стабильность кукурузного силоса.

Продолжительность аэробной стабильности возрастает с увеличением срока хранения корма [53]. Кукурузный силос должен подвергаться брожению минимум три недели. На 30-е сутки силосования, когда процесс брожения считается законченным и корм готов к употреблению, продолжительность аэробной стабильности составляет не более 1–2 суток. При более длительном анаэробном хранении она увеличивается. Дрожжи в таком корме находятся в состоянии так называемого «покоя», но при наличии в силосе остаточного сахара их ферментативная система функционирует, обеспечивая окислительно-восстановительные и синтетические процессы, в основном, направленные на образование этилового спирта — основного нежелательного процесса при силосовании такого сырья.

При соблюдении технологии заготовки силоса подавление активности нежелательных микроорганизмов в анаэробных условиях происходит за счет низкого уровня рН, наличия в его составе достаточного количества органических кислот и правильного их соотношения [54].

В аэробных условиях рост дрожжей и плесени, возбудителей аэробной порчи эффективно подавляют уксусная, масляная и пропионовая кислоты, которые менее диссоциированы, чем молочная кислота. Молекулы таких кислот путем

пассивной диффузии проникают внутрь микробной клетки, что приводит к высвобождению  $H^+$  ионов, снижению внутриклеточного рН и гибели клетки.

Таким образом, аэробная стабильность кукурузного силоса обеспечивается правильными сроками уборки растений, приходящимися на фазу восковой спелости зерна при содержании 30–35% сухого вещества. Увеличение высоты скашивания растений в указанные сроки до 50 см увеличивает долю зерна в урожае, благодаря чему повышается его питательная ценность и продуктивное действие, но снижается общая урожайность. Это приводит к повышению содержания сухого вещества в силосуемой массе, что для обеспечения аэробной стабильности предполагает более тонкое измельчение сырья (6–10 мм) и более плотную укладку его на хранение. Степень измельчения более влажного сырья может быть увеличена до 20 мм. Плотность укладки силосуемого сырья на хранение должна варьировать в пределах 230–320 кг СВ/м<sup>3</sup> в зависимости от его исходной влажности. Надежную герметизацию силоса обеспечивает его укрытие двумя слоями полиэтиленовой пленки, склеенной липкой лентой в полотнища. Аэробная стабильность повышается при увеличении срока хранения силоса. К скармливанию кукурузного силоса желательно приступать не ранее 4–6 недель после окончания закладки. Для обеспечения аэробной стабильности глубина еженедельно выбираемого слоя силоса должна составлять не менее 1–1,5 метров зимой и 2–2,5 метров летом. Аэробную стабильность силоса повышает также использование специальных химических и биологических препаратов.

## Литература

1. Оноприенко Н.А., Мандрыкина Н.А., Оноприенко В.В. Приготовление сенажа, кукурузного силоса и консервирование плющеного зерна кукурузы : рекомендации производству. – Краснодар, 2012. – 36 с.
2. Патент Европейского патентного ведомства EP3105355A1, C12R1/24. Микроорганизм *Lactobacillus brevis* ТАК 124-1 NCIMB42149 и его использование / К. Кокк, Э. Сонгисепп, М. Рэтсеп, А. Олт, Х. Калдмяэ, О.К.М. Отс. – Публикация 2020-02-20.
3. Миллер А.-М. Грется ли силос? почему – из-за чего – что делать? [Электронный ресурс] / Пер. Е. Бабенко. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения 07.07.2023).
4. Romero J.J., Park J., Joo Y., Zhao Y., Balseca-Paredes M.A., Gutierrez-Rodriguez E., Castillo M.S. Microbial ecology, fermentation, and aerobic stability of conventional and BMR corn hybrids ensiled at high moisture with or without a homo and heterofermentative inoculants. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 36–37.
5. Кукуруза на силос: заготавливаем по всем правилам [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения 07.07.2023).
6. Резать кукурузу длинно или коротко? [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
7. Барнхарт С. Заготовка высококачественного кукурузного силоса [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
8. Кукуруза на силос: степень измельчения массы // Кукуруза в кормлении КРС: уборка и консервация : брошюра компании KWS – 2015 [Электронный ресурс] / Пер. Е. Бабенко. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения 07.07.2023).
9. Получение кайфа с кукурузным силосом [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения 07.07.2023).
10. Лауэр Д. Урожайность кукурузного силоса и компромисс между качеством при изменении высоты скашивания [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
11. Маханна Б. Влияние высоты скашивания и зрелости на питательную ценность кукурузного силоса для дойных коров [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
12. Соображения по управлению высотой скашивания кукурузного силоса [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
13. Высота скашивания кукурузы на силос [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (дата обращения 07.07.2023).
14. Nußbaum H. Futterkonservierung. In: N. Lütke-Entrup, F. Schwarz, H. Heilmann (eds.). *Handbuch Mais*. Deutsches Maiskomitee, Bonn, Germany, 2013. Pp. 264–287.
15. Leurs K. Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der MaxEyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, 2006, vol. 438, 68 s.
16. Huenting K., Schneider M., Spiekers H., Pries M. Effect of shredlage maize harvesting technology on fermentation parameters, packing densities and aerobic stability of maize crop ensiled in bunker silos. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 492–493.
17. Thaysen J., Gerighausen H.-G., Maack C., Richardt W., Ewen A., Kellner K., Sierts H.-P. Effects of stage of maturity, rollers and chopping length on starch availability, losses and aerobic stability of maize (*Zea mays* L.) silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 504–505.

18. Мак-Дональд П. Биохимия силоса / Пер. с англ. Н.М. Спичкина; под ред. и с предисл. К.И. Каменской. – М. : Агропромиздат, 1985. – 272 с.
19. Machado J., García-Díaz T., Scheidt K.C., Osmari M.P., Banchemo C., Wilkinson J.M., Jobim C.C., Daniel J.L.P. Replacement of polyethylene film with Silostop oxygen barrier film on the nutritive value of corn silage for finishing beef cattle. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 536–537.
20. Wilkinson J.M., Davies D.R. The aerobic stability of silage: Key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*. 2012. N 68. Pp. 1–19.
21. Wilkinson J.M., Fenlon J.S. A meta-analysis comparing standard polyethylene and oxygen barrier film in terms of losses during storage and aerobic stability of silage. *Grass and Forage Science*. 2013. N 69. Pp. 385–392.
22. Вайсбах Ф. Будущее консервирования кормов // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2012. – № 2. – С. 49–70.
23. Квасников Е.И., Щелокова И.Ф. Микрофлора ранних стадий силосования // Известия АН СССР, сер. биол. – 1968. – № 4. – 43 с.
24. Johnson-Green P. Introduction to Food Biotechnology. Boca Raton, CRC Press, 2002, 312 p.
25. Yang J., Cao Y., Cai Y. & Terada F. Natural population of lactic acid bacteria isolated from vegetable residues and silage fermentation. *J. Dairy Sci.*, 2010, vol. 93, pp. 3136–3145.
26. Кучин И.В., Победнов Ю.А. Основы приготовления и перспективы использования силоса и сенажа [Электронный ресурс] // Адаптивное кормопроизводство. – 2013. – № 3 (15). – С. 13–25. – URL: <http://www.adaptagro.ru>.
27. Woolford M.K. The detrimental effect of air on silage. *Journal of Applied Bacteriology*, 1990, vol. 68, pp. 101–116.
28. Auerbach H. Verfahrensgrundlagen zur Senkung des Risikos eines Befalls von Silagen mit *Penicillium roqueforti* und einer Kontamination mit Mykotoxinen dieses Schimmelpilzes. *Landbau-forschung Völknerode*, 1996, Sonderheft 168, 167 s.
29. Tabacco E., Nucera D.M., Piano S., Borreani G. Recovery and PCR-based characterization of *Listeria* strains from total mixed ration and maize silages with different silo management practices. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 160–161.
30. Лаптев Г.Ю. Эффективность препарата «Биотроф-600» для борьбы с нежелательной микрофлорой при хранении плющеного зерна // Актуальные проблемы заготовки, хранения и рационального использования кормов : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Москва, 2009. – С. 41–45.
31. Победнов Ю.А. Основы и способы силосования трав. – Санкт-Петербург, 2010. – 192 с.
32. Pahlow G., Muck R.E., Driehuis F., Oude Elferink S.J.W.H., Spoelstra S.F. Microbiology of ensiling. In: *Silage science and technology*. D.R. Buxton, R.E. Muck, J.H. Harrison, eds. American Society of Agronomy. 2003. Madison, Wisconsin, USA. Pp. 31–94.
33. Da Silva E.B., Polukis S.A., Savage R.M., Smith M.L., Mester R.N., Kung Jr.L. Effects of *Lactobacillus buchneri* PJB/1 alone and in combination with *Lactobacillus plantarum* MTD-1 on the bacterial community composition and aerobic stability of high moisture corn stored with or without air stress. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 254–255.
34. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R.J., Holmes B.J., Muck R.E. Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 3952–3979.
35. Borreani G., Ferrero F., Coppa M., Demey V., Tabacco E. Effect of different inocula on aerobic stability of corn silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 238–239.
36. Dolci P., Tabacco E., Borreani G. Microbial dynamics during aerobic exposure of corn silage stored under oxygen barrier or polyethylene films. *Applied and Environmental Microbiology*, 2011, vol. 77, pp. 7499–7507.

37. Алексеев В., Блюсюк С. Кукурузный силос: сохранить чтобы испортить [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения 07.07.2023).
38. Приготовление силоса и сенажа с применением отечественных биологических препаратов / В.А. Бондарев, В.М. Косолапов, В.П. Клименко, А.Н. Кричевский. – М., 2016. – 212 с.
39. McDonald P., Henderson A.R., Heron S.J.E. The biochemistry of silage. 1991. Chalcombe Pub., Marlow, UK. 340 p.
40. Zielke J., Pieper B. Characterizations of different yeast species from corn silage and their ability to degrade lactate. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 128–129.
41. Te Giffel M.C., Wagendorp A., Herrewegh A., Driehuis F. Bacterial spores in silage and raw milk. *Antonie van Leeuwenhoek*, 2002, vol. 81, pp. 625–630.
42. Borreani G., Nucera D., Casale M., Piano S., Ferrero F., Tabacco E. Uncorrected silo management increases the risk of contamination of the milk production chain with *Clostridium spp.* and *Paenibacillus spp.* In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 168–169.
43. Spoelstra S.F., Courtin M.G., van Beers J.A.C. Acetic acid bacteria can initiate aerobic deterioration of whole crop maize silage. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, 1988, vol. 111, pp. 127–132.
44. Courtin M.G., Spoelstra S.F. A simulation model of the microbiological and chemical changes accompanying the initial stage of aerobic deterioration of silage. *Grass Forage Sci.*, 1990, vol. 45, pp. 153–165.
45. Бондарев В.А. Эффективнее использовать химические консерванты для кормов // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 6. – С. 96–101.
46. Ohyama Y., Hara S., Masaki S. Analysis of factors affecting the aerobic degradation of grass silos. In: Thomas C. (ed.) *Feed Conservation in the 80s. BGS Sometimes Symposium Re-Ding*. UK: British Grassland Society. 1980, no. 11, pp. 257–261.
47. Нусбаум Х. 8 правил заготовки кукурузного силоса наилучшего качества [Электронный ресурс] / Пер. Е. Бабенко. – URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (дата обращения: 07.07.2023).
48. De Oliveira I., Tabacco E., Ferrero F., Borreani G., Bernardes T.F. A new approach to assess feed-out rate in maize silage bunker. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 454–455.
49. Gervásio G.A., De Oliveira I., Tabacco E., Ferrero F., Borreani G., Bernardes T. pH index as a method to identify aerobic deterioration in farm maize silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 456–457.
50. Chen Y., Weinberg Z.G. The effect of relocation of whole-crop wheat and corn silages on their quality. *J. Dairy Sci.*, 2014, vol. 97, pp. 406–410.
51. Pahlow G., Muck R.E., Driehuis F., Oude Elferink S.J.W.H., Spoelstra S.F. Silage Science and Technology. Agronomy Monograph 42, 2003. Chapter 2. Pages 31–93. In: *Microbiology*. D.R. Buxton, R.E. Muck, J.H. Harrison (eds.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
52. Do Rêgo A.C., Mendonça R.C.A., Souza M.S., Santos R.I.R., Domingues M.F.N., Faturi C., Bernardes T.F., da Silva T.C. Effects of relocation and microbial inoculants on microbial population and aerobic stability of corn silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 502–503.
53. Шмидт В., Веттерау Г. Производство силоса / Пер. с нем. Г.Н. Мирошниченко. – М. : Колос, 1975. – 352 с.
54. Muck R. Microbiology of ensiling. In: K. Kuoppala, M. Rinne, A. Vanhatalo (eds.). *Proceedings of the XVI International Silage Conference*, Hämeenlinna, Finland, 2012, pp. 75–86.

## References

1. Onoprienko N.A., Mandrykina N.A., Onoprienko V.V. Prigotovleniye senazha, kukuruznogo silosa i konservirovaniya plyushchenogo zerna kukuruzy: rekomendatsii proizvodstvu [Preparation of haylage, corn silage and preservation of flattened corn grain: production recommendations]. Krasnodar, 2012, 36 p.
2. European Patent Office Patent EP3105355A1, C12R1/24. Mikroorganizm *Lactobacillus brevis* TAK 124-1 NCIMB42149 i yego ispol'zovaniye [The microorganism *Lactobacillus brevis* TAK 124-1 NCIMB42149 and its use]. K. Kokk, E. Songisepp, M. Retsep, A. Olt, Kh. Kaldmyae, O.K.M. Ots. Publication 2020-02-20.
3. Miller A.-M. Greyetsya silos? pochemu – iz-za chego– chto delat'? [Is the silo heating up? why – because of what – what to do?]. Transl. E. Babenko. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07.2023).
4. Romero J.J., Park J., Joo Y., Zhao Y., Balseca-Paredes M.A., Gutierrez-Rodriguez E., Castillo M.S. Microbial ecology, fermentation, and aerobic stability of conventional and BMR corn hybrids ensiled at high moisture with or without a homo and heterofermentative inoculant. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 36–37.
5. Kukuрузa na silos: zagotavlivayem po vsem pravilam [Corn for silage: harvesting according to all the rules]. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07.2023).
6. Rezat' kukuruзу dlinno ili korotko? [Cut corn long or short?]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
7. Barnhart S. Zagotovka vysokokachestvennogo kukuruznogo silosa [Procurement of high-quality corn silage]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
8. Kukuрузa na silos: stepen' izmel'cheniya massy [Corn for silage: the degree of mass reduction]. *Kukuрузa v kormlenii KRS: uborka i konservatsiya – broshyura kompanii KWS – 2015* [Corn in cattle feeding: harvesting and conservation – brochure of the KWS company – 2015]. Transl. E. Babenko. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07.2023).
9. Polucheniye kayfa s kukuruznym silosom [Getting high with corn silage]. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07.2023).
10. Lauer D. Urozhaynost' kukuruznogo silosa i kompromiss mezhdru kachestvom pri izmenenii vysoty skashivaniya [Yield of corn silage and compromise between quality when changing the cutting height]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
11. Makhanna B. Vliyaniye vysoty skashivaniya i zrelosti na pitatel'nyuyu tsennost' kukuruznogo silosa dlya doynnykh korov [Influence of cutting height and maturity on the nutritional value of corn silage for dairy cows]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
12. Soobrazheniya po upravleniyu vysotoy skashivaniya kukuruznogo silosa [Considerations for managing the cutting height of corn silage]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
13. Vysota skashivaniya kukuruzy na silos [Mowing height of corn for silage]. URL: <http://www.bee-garden.ru/raznoe-2/vysota-sreza-kukuruzy-na-...> (accessed 07.07.2023).
14. Nußbaum H. Futterkonservierung [Forage Preservation]. In: N. Lütke-Entrup, F. Schwarz, H. Heilmann (eds.). *Handbuch Mais*. Deutsches Maiskomitee, Bonn, Germany, 2013. Pp. 264–287.
15. Leurs K. Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais [Influence of chop length, degree of processing and variety on the ensiling properties of maize]. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der MaxEyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI, 2006, vol. 438, 68 s.



16. Huenting K., Schneider M., Spiekers H., Pries M. Effect of shredlage maize harvesting technology on fermentation parameters, packing densities and aerobic stability of maize crop ensiled in bunker silos. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 492–493.
17. Thaysen J., Gerighausen H.-G., Maack C., Richardt W., Ewen A., Kellner K., Sierts H.-P. Effects of stage of maturity, rollers and chopping length on starch availability, losses and aerobic stability of maize (*Zea mays* L.) silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 504–505.
18. Mak-Donal'd P. Biokhimiya silosa [Biochemistry of silage]. Transl. from English. N.M. Spichkin. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, 272 p.
19. Machado J., García-Díaz T., Scheidt K.C., Osmari M.P., Banhero C., Wilkinson J.M., Jobim C.C., Daniel J.L.P. Replacement of polyethylene film with Silostop oxygen barrier film on the nutritive value of corn silage for finishing beef cattle. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 536–537.
20. Wilkinson J.M., Davies D.R. The aerobic stability of silage: Key findings and recent developments. *Grass and Forage Science*, 2012, no. 68, pp. 1–19.
21. Wilkinson J.M., Fenlon J.S. A meta-analysis comparing standard polyethylene and oxygen barrier film in terms of losses during storage and aerobic stability of silage. *Grass and Forage Science*, 2013, no. 69, pp. 385–392.
22. Weisbach F. Budushcheye konservirovaniya kormov [The future of feed conservation]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* [Problems of biology of productive animals], 2012, no. 2, pp. 49–70.
23. Kvasnikov E.I., Shchelokova I.F. Mikroflora rannikh stadiy silosovaniya [Microflora of the early stages of ensiling]. *Izvestiya AN SSSR, ser. biol. [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, biological series]*, 1968, no. 4, 43 p.
24. Johnson-Green P. Introduction to Food Biotechnology. Boca Raton, CRC Press, 2002, 321 p.
25. Yang J., Cao Y., Cai Y., Terada F. Natural population of lactic acid bacteria isolated from vegetable residues and silage fermentation. *J. Dairy Sci.*, 2010, vol. 93, pp. 3136–3145.
26. Kuchin I.V., Pobednov Yu.A. Osnovy prigotovleniya i perspektivy ispol'zovaniya silosa i senazha [Fundamentals of preparation and prospects for the use of silo and haylage]. *Adaptivnoye kormoproizvodstvo [Adaptive fodder production]*, 2013, no. 3 (15), pp. 13–25.
27. Woolford M.K. The detrimental effect of air on silage. *Journal of Applied Bacteriology*, 1990, vol. 68, pp. 101–116.
28. Auerbach H. Verfahrensgrundlagen zur Senkung des Risikos eines Befalls von Silagen mit *Penicillium roqueforti* und einer Kontamination mit Mykotoxinen dieses Schimmelpilzes [Principles of procedure to reduce the risk of silage infestation with *Penicillium roqueforti* and contamination with mycotoxins from this mold]. *Landbauforschung Völkenrode [Agricultural research in Völkenrode]*, 1996, Sonderheft 168, 167 s.
29. Tabacco E., Nucera D.M., Piano S., Borreani G. Recovery and PCR-based characterization of *Listeria* strains from total mixed ration and maize silages with different silo management practices. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 160–161.
30. Laptsev G.Yu. Effektivnost' preparata "Biotrof-600" dlya bor'by s nezhelatel'noy mikrofloroy pri khraneni i plyushchenogo zerna [Efficiency of the Biotroph-600 preparation for combating undesirable microflora during the storage of rolled grain]. *Aktual'nyye problemy zagotovki, khraneniya i ratsional'nogo ispol'zovaniya kormov [Actual problems of procurement, storage and rational use of feed: materials of the Intern. scientific-practical conf.]*. Moscow, 2009, pp. 41–45.
31. Pobednov Yu. A. Osnovy i sposoby silosovaniya trav [Fundamentals and methods of grass ensiling]. St. Petersburg, 2010, 192 p.
32. Pahlow G., Muck R.E., Driehuis F., Oude Elferink S.J.W.H., Spoelstra S.F. Microbiology of ensiling. In: *Silage science and technology*. D.R. Buxton, R.E. Muck, J.H. Harrison, eds. American Society of Agronomy. 2003. Madison, Wisconsin, USA, pp. 31–94.

33. Da Silva E.B., Polukis S.A., Savage R.M., Smith M.L., Mester R.N., Kung Jr.L. Effects of *Lactobacillus buchneri* PJB/1 alone and in combination with *Lactobacillus plantarum* MTD-1 on the bacterial community composition and aerobic stability of high moisture corn stored with or without air stress. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 254–255.
34. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R.J., Holmes B.J., Muck R.E. Factors affecting dry matter and quality losses in silages. *Journal of Dairy Science*, 2018, vol. 101, pp. 3952–3979.
35. Borreani G., Ferrero F., Coppa M., Demey V., Tabacco E. Effect of different inocula on aerobic stability of corn silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 238–239.
36. Dolci P., Tabacco E., Borreani G. Microbial dynamics during aerobic exposure of corn silage stored under oxygen barrier or polyethylene films. *Applied and Environmental Microbiology*, 2011, vol. 77, pp. 7499–7507.
37. Alekseev V., Blyusyuk S. Kukuruznyy silos: sokhranit' chtoby isportit' [Corn silage: save to spoil]. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07. 2023).
38. Bondarev V.A., Kosolapov V.M., Klimenko V.P., Krichevskiy A.N. Prigotovleniye silosa i senazha s primeneniym otechestvennykh biologicheskikh preparatov [Preparation of silage and haylage using domestic biological preparations]. Moscow, 2016. 212 p.
39. McDonald P., Henderson A.R., Heron S.J.E. The biochemistry of silage. Chalcombe Pub., 1991, Marlow, UK. 340 p.
40. Zielke J., Pieper B. Characterizations of different yeast species from corn silage and their ability to degrade lactate. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 128–129.
41. Te Giffel M.C., Wagendorp A., Herrewegh A., Driehuis F. Bacterial spores in silage and raw milk. *Antonie van Leeuwenhoe*, 2002, vol. 81, pp. 625–630.
42. Borreani G., Nucera D., Casale M., Piano S., Ferrero F., Tabacco E. Uncorrected silo management increases the risk of contamination of the milk production chain with *Clostridium spp.* and *Paenibacillus spp.* In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 168–169.
43. Spoelstra S.F., Courtin M.G., van Beers J.A.C. Acetic acid bacteria can initiate aerobic deterioration of whole crop maize silage. *Journal of Agricultural Science*. Cambridge, 1988, vol. 111, pp. 127–132.
44. Courtin M.G., Spoelstra S.F. A simulation model of the microbiological and chemical changes accompanying the initial stage of aerobic deterioration of silage. *Grass Forage Sci.*, 1990, vol. 45, pp. 153–165.
45. Bondarev V.A. Effektivneye ispol'zovat' khimicheskkiye konservanty dlya kormov [More efficient use of chemical preservatives for feed]. *Khimizatsiya sel'skogo khozyaystva* [Chemicalization of agriculture], 1991, no. 6, pp. 96–101.
46. Ohyama Y., Hara S., Masaki S. Analysis of factors affecting the aerobic degradation of grass silos. In: Thomas C. (ed.) *Feed Conservation in the 80s. BGS Sometimes Symposium Re-Ding*. UK: British Grassland Society. 1980, no. 11, pp. 257–261.
47. Nusbaum Kh. 8 pravil zagotovki kukuruznogo silosa nailuchshego kachestva [8 rules for harvesting the best quality corn silage] / Transl. E. Babenko. URL: <http://www.agrovesti.net/lib/tech/fodder-production-tech/8-...> (accessed 07.07.2023).
48. De Oliveira I., Tabacco E., Ferrero F., Borreani G., Bernardes T.F. A new approach to assess feed-out rate in maize silage bunker. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 454–455.
49. Gervásio G.A., De Oliveira I., Tabacco E., Ferrero F., Borreani G., Bernardes T. pH index as a method to identify aerobic deterioration in farm maize silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 456–457.

50. Chen Y., Weinberg Z.G. The effect of relocation of whole-crop wheat and corn silages on their quality. *J. Dairy Sci.*, 2014, vol. 97, pp. 406–410.
51. Pahlow G., Muck R.E., Driehuis F., Oude Elferink S.J.W.H., Spoelstra S.F. Silage Science and Technology. Agronomy Monograph 42, 2003. Chapter 2. Pages 31–93. In: *Microbiology*. D.R. Buxton, R.E. Muck, J. H. Harrison (eds.). American Society of Agronomy, Madison, WI.
52. Do Rêgo A.C., Mendonça R.C.A., Souza M.S., Santos R.I.R., Domingues M.F.N., Faturi C., Bernardes T.F., da Silva T.C. Effects of relocation and microbial inoculants on microbial population and aerobic stability of corn silage. In: *XVIII International Silage Conference*, July 24–26, 2018, Bonn, Germany, pp. 502–503.
53. Shmidt V., Vetterau G. Proizvodstvo silosa [Silo production]. Transl. from German G.N. Miroshniko. Moscow, Kolos Publ., 1975, 352 p.
54. Muck R. Microbiology of ensiling. In: K. Kuoppala, M. Rinne, A. Vanhatalo (eds.). *Proceedings of the XVI International Silage Conference*, Hämeenlinna, Finland, 2012, pp. 75–86.