

26. Влияние скармливания молодняку крупного рогатого скота кормов с разной расщепляемостью протеина на физиологическое состояние и переваримость питательных веществ кормов / В. Ф. Радчиков, А. Н. Кот, М. М. Карпеня [и др.] // Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 01-02 июня 2023 г. / Брянский ГАУ. – Брянск, 2023. – Ч. 1. – С. 155-160.

27. Подготовка зерна к скармливанию как способ повышения эффективности его использования в кормлении крупного рогатого скота / В. Ф. Радчиков, В. П. Цай, А. Н. Кот [и др.] // Научное обеспечение животноводства Сибири : материалы II междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 17–18 мая 2018 года / Красноярский НИИЖ. – Красноярск, 2018. – С. 189-194.

28. Экструдированный пищевой концентрат в рационах молодняка крупного рогатого скота / В. Ф. Радчиков, С. Л. Шинкарёва, В. К. Гурин, В. П. Цай, О. Ф. Ганушенко, А. Н. Кот, Т. Л. Сапсальева ; Научно-практический центр НАН Беларуси по животноводству, Витебская гос. акад. ветеринарной медицины. – Жодино, 2017. – 118 с. – ISBN 978-985-6895-22-0.

29. Эффективность разных способов подготовки зерна к скармливанию / Г. В. Бесараб, А. М. Антонович, В. А. Голубицкий [и др.] // Актуальні питання технології продукції тваринництва : зб. ст. за результатами III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., Полтава, 30-31 окт. 2017 г. / Полтавська державна аграрна академія. – Полтава, 2018. – С. 123-127.

30. Уточнение норм ввода фосфора в состав комбикормов для молодняка КРС / А. И. Портной, В. П. Цай, А. Г. Менякина [и др.] // Актуальные проблемы ветеринарии и интенсивного животноводства : сб. тр. междунар. науч.-практ. конф., Брянск, 30-31 мая 2024 г. / Брянский ГАУ. – Брянск, 2024. – С. 187-192.

Поступила 24.03.2025 г.

УДК 636.085.51:636.085.52

М.А. ПАСТУХОВА, З.А. ЗАЙЦЕВА, С.Н. МИХАЛЬЧУК

СОДЕРЖАНИЕ КИСЛОТНО-ДЕТЕРГЕНТНОЙ КЛЕТЧАТКИ В ТРАВЯНЫХ КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМАХ С УЧЁТОМ БАЛАНСА СТРУКТУРНЫХ УГЛЕВОДОВ

*Полесский аграрно-экологический институт Национальной академии
наук Беларуси, г. Брест, Республика Беларусь*

В статье представлены результаты статистического анализа показателей структурных углеводов в травяных кормах, заготовленных предприятиями АПК Брестской области в 2021–2024 гг. На основе анализа 2836 образцов установлены достоверные математические модели зависимости КДК от НДК и СК; СК от КДК в силосе кукурузном, а также в злаковом и злаково-бобовом сенаже. Модели могут быть использованы в повседневной работе лаборатории в качестве дополнительного метода анализа. Установлена сильная зависимость КДК от СК; СК от КДК в бобово-злаковых сенажах и сенажах из люцерны в моно-виде, однако ошибка аппроксимации >10 указывает на невозможность практического применения данных моделей и требует дополнительных исследований.

Однородность выборки образцов по ботаническому составу является одним из ключевых условий при создании математической модели зависимости. При формировании выборки сенажей из люцерны, однородной по ботаническому составу, и уменьшении количества образцов в ней на 60 % по отношению к общему числу бобовых и бобово-злаковых сенажей получены сопоставимые коэффициенты детерминации.

Ключевые слова: коэффициент детерминации; ошибка аппроксимации; НДК, КДК, СК, математическая модель зависимости.

M.A. PASTUKHOVA, Z.A. ZAYTSEVA, S.N. MIKHALCHUK

ACID DETERGENT FIBER CONTENT IN PRESERVED GRASS FORAGES TAKING INTO ACCOUNT THE BALANCE OF STRUCTURAL CARBOHYDRATES

Polesie Agrarian & Environmental Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Republic of Belarus

The paper contains the results of statistical analysis of the indicators of structural carbohydrates in grass forages conserved by agro-industrial enterprises of Brest region in 2021-2024. Based on the analysis of 2836 samples, reliable mathematical models of dependence of ADF on NDF and CF; CF on ADF in corn silage, as well as in grass and grass-and-legume haylage were established. The models can be used in routine laboratory work as a complementary method of analysis. Strong dependence of ADF on CF; CF on ADF in legume-grass haylages and alfalfa haylages in a single form was established, however, the approximation error >10 indicates the impossibility of practical application of these models and requires additional research. Uniformity of botanical composition of the batch of samples is one of the key conditions for creating a mathematical model of dependence. When forming a batch of samples of alfalfa haylage that was homogeneous in terms of botanical composition, and reducing the number of samples in it by 60% in relation to the total number of legume and legume-grass haylages, comparable coefficients of determination were obtained.

Key words: coefficient of determination, approximation error, NDF, ADF, CF, mathematical model of dependence.

Введение. Животноводство Республики Беларусь, в большей части молочное скотоводство, в значительной мере обеспечивает продовольственную безопасность страны и существенную долю её экспортных поступлений. Высокое качество производимой в стране молочной продукции по праву принято считать брендом страны. Однако остаются актуальными вопросы оптимизации технологии производства молока с точки зрения сохранения здоровья животных, увеличения периода их хозяйственного использования. Большое значение в решении этих задач отводится комовой базе и контролю её качества, особенно качеству заготавливаемых травяных кормов. Физиологически обусловлено, что

основа рационов крупного рогатого скота – травяные корма. Жвачные животные способны переваривать большое количество структурных углеводов. Именно за счёт клетчатки обеспечивается около 70 % энергии, необходимой животным, улучшается моторика желудочно-кишечного тракта, нормализуется время жвачки у животных и поддерживается оптимальная кислотнo-щелочная среда в рубце.

Оптимальный уровень сырой клетчатки в рационах зависит от продуктивности животных, их физиологического состояния, структуры кормления и других факторов. В литературе приводятся оптимальные нормы СК для лактирующих высокопродуктивных коров, составляющих, например, 16–18 % [1], 17–20 % [2] в сухом веществе кормосмеси.

Недостаток или чрезмерное содержание СК в рационе крупного рогатого скота оказывают негативное влияние: снижаются продолжительность и активность жвачки, интенсивность переваривания корма и направленность ферментации в рубце, нарушается перистальтика и продвижение корма по желудочно-кишечному тракту, нарушается энергетический и азотный обмен в организме и, как следствие, снижается продуктивность животных, их воспроизводительная способность, возникают разнообразные метаболические дисфункции, приводящие к комплексу сопутствующих серьезных патологий [3, 4].

Учитывая исключительно важное значение клетчатки в рационе животных, необходимо понимать, использование показателя СК не является информативным для детального анализа и балансировки рационов высокопродуктивным животным. Этот показатель даёт лишь частичное представление о содержании целлюлозы и лигнина (приблизительно 40 %) от фактического их содержания [1, 5–8]. Более информативным с точки зрения зоотехнии является оценка фракций СК: нейтрально-детергентной клетчатки (НДК) и кислотнo-детергентной клетчатки (КДК). Значения данных показателей более точно характеризуют поедаемость, переваримость и усвоение корма. В новых нормативных документах, устанавливающих требования к качеству травяных кормов (СТБ 1223-2024; СТБ 2662-2024) установлены нормативные значения КДК и НДК в травяных кормах в зависимости от класса качества [9, 10]. Определение данных показателей затруднительно для многих лабораторий РБ по причине недостаточного технического обеспечения.

Отраслевая научно-исследовательская лаборатория качества кормов Полесского аграрно-экологического института ежегодно проводит массовые анализы качества заготовленных предприятиями АПК Брестской области консервированных кормов по 42 показателям качества. Статистическая обработка накопленного массива данных позволяет выявлять объективные закономерности и зависимости показателей качества кормов.

В публикации [11] описываются установленные нами модели зависимости НДК от КДК и СК в кукурузном силосе. В данной статье приводятся математические модели зависимости КДК от НДК и СК в силосе и сенажах разного ботанического состава. Суть данных исследований состоит в практическом применении дополнительного метода оценки структурной клетчатки корма. Подобные работы проводились и описаны в публикациях [3, 6, 12, 13].

Материалы и методика исследований. Лабораторные исследования проводились в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Учёт и хранение данных проводилось при помощи компьютерной программы баз данных Access, математическая обработка данных – при помощи программы Excel. Корреляционный анализ проведён на 4-х разных выборках образцов консервированных травяных кормов, заготовленных в предприятиях АПК Брестской области в 2021-2024 гг. Выборка образцов силоса кукурузного насчитывает 2836 образцов, сенажа злакового и злаково-бобового – 2062 образца, сенажа бобового и бобово-злакового – 260 образцов, сенажа из люцерны в моновиде – 79 образцов.

Результаты исследования и их обсуждение. Корреляционная зависимость показателей в кукурузном силосе показана в таблице 1.

Таблица 1 – Корреляционная зависимость показателей в кукурузном силосе

Искомый показатель	Диапазон значений, г		Количество образцов в выборке, шт.	Математическая модель зависимости	Кoeffициент детерминации, R ²	Ошибка аппроксимации (δ)	
	показатель	значения				г	%
КДК	НДК	263–675	2836	$y = 0,0001x^2 + 0,5035x - 3,8274$	0,91	7	3
КДК	СК	149–414		$y = -0,0002x^2 + 1,1697x - 1,0578$	0,87	8	3
СК	КДК	138–398		$y = -0,0004x^2 + 0,9871x - 0,9828$	0,87	7	3

Согласно данным таблицы 1, выявлена статистическая зависимость показателей: КДК от НДК; КДК от СК; СК от КДК в кукурузном силосе. Данная зависимость установлена в выборке образцов, включающей 2836 шт., однородных по ботаническому составу (силос изготовлен из одной культуры – кукурузы).

Установлена достоверная математическая зависимость КДК от НДК в кукурузном силосе. Математическая модель зависимости

представлена полиномиальной кривой, коэффициент детерминации (R^2) 0,91. Ошибка аппроксимации (δ) данной модели зависимости составляет 7 г или 3 % относительно данных, получаемых с использованием БИК-анализа. Данная математическая модель может быть использована при условии, что содержание НДК в кукурузном силосе известно и находится в диапазоне значений 263-675 г/кг СВ.

Установлена достоверная математическая зависимость КДК от СК в кукурузном силосе, которая описывается полиномиальной кривой с коэффициентом детерминации (R^2) 0,87. Ошибка аппроксимации (δ) данной модели составляет 8 г или 3 % к данным, получаемым с использованием метода БИК-анализа. Модель может быть использована при условии известных значений СК, находящихся в диапазоне 149-414 г/кг СВ.

Установлена достоверная математическая зависимость СК от КДК в кукурузном силосе. Модель зависимости описывается полиномиальной кривой, коэффициент детерминации (R^2) 0,87. Ошибка аппроксимации (δ) составляет 7 г или 3 % относительно данных, получаемых стандартной методикой определения СК (ГОСТ 13496.2-91). Модель может применяться при условии, что значение КДК известно и находится в диапазоне 138–398 г/кг СВ. Проведён аналогичный анализ корреляционной зависимости в сенаже, приготовленном из злаковой и злаково-бобовой травосмеси (таблица 2).

Таблица 2 – Корреляционная зависимость показателей в злаковом и злаково-бобовом сенаже

Иско- мый пока- затель	Диапазон значений, г		Коли- чество образ- цов в вы- борке	Математическая модель зависимости	Коэф- фици- ент де- терми- нации, R^2	Ошибка аппрок- симации (δ)	
	показа- тель	зна- чения				г	%
КДК	НДК	301– 763	2062	$y = 0,0008x^2 - 0,4999x + 368,38$	0,47	*	*
КДК	СК	115– 543		$y = -0,0016x^2 + 1,9913x - 108,09$	0,77	14	4
СК	КДК	181– 477		$y = 0,0003x^2 + 0,4966x + 87,039$	0,76	11	4

Как видно из таблицы 2, в отношении корма, приготовленного из злаковой и злаково-бобовой травосмеси, не выявлена сильная математическая зависимость между показателями КДК от НДК. Однако характер расположения точек рассеивания на диаграмме (рисунок 1), указывает на возможное выявление сильной корреляционной зависимости при условии большего накопления массивов данных, либо вычленения

образцов с идентичным ботаническим составом, что является более сложной практически выполнимой задачей.

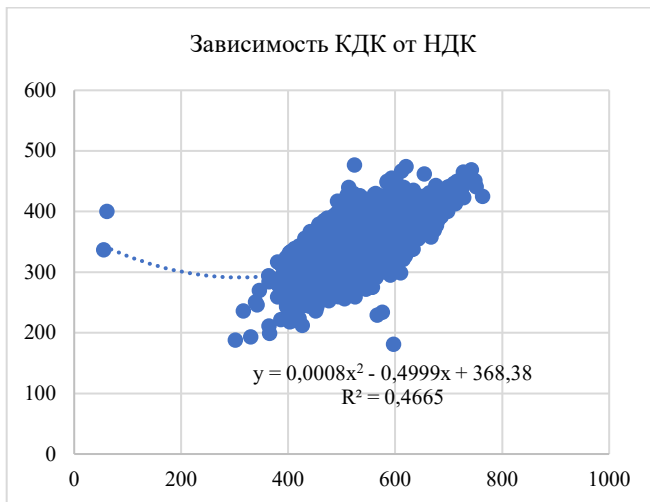


Рисунок 1 – Диаграмма рассеивания в сенаже, приготовленном из злаковых и злаково-бобовых травосмесей (не выявлена достоверная модель зависимости)

Установлены достоверные модели зависимости КДК от СК и СК от КДК в сенажах, приготовленных из злаковых и злаково-бобовых травосмесей.

Модель зависимости КДК от СК описывается полиномиальной кривой с коэффициентом детерминации (R^2) 0,77; ошибка аппроксимации (δ) 14 г или 4 % относительно значений, полученных с метода БИК-анализа. Данная модель может применяться в качестве дополнительного метода определения КДК при условии, что значение СК находится в диапазоне 115–543 г/кг СВ.

Модель зависимости СК от КДК описывается полиномиальной кривой, коэффициент детерминации (R^2) 0,76; ошибка аппроксимации (δ) 11 г или 4 % относительно данных, полученных с применением стандартной методики исследований (ГОСТ 13496.2-91)

Анализ статистической взаимосвязи исследуемых показателей в сенажах, приготовленных из бобовых и бобово-злаковых травосмесей в выборке, насчитывающей 260 образцов также не выявил сильной корреляционной зависимости между показателями : КДК от НДК. Коэффициента детерминации (R^2) равен 0,41 (таблица 3).

Таблица 3 – Корреляционная зависимость показателей в бобовом и бобово-злаковом сенаже

Иско- мый пока- за- тель	Диапазон значений		Коли- че- ство образ- цов в вы- борке	Математическая модель зависи- мости	Коэффи- циент детерми- нации, R ²	Ошибка аппрок- симации (δ)	
	пока- за- тель	зна- че- ния				г	%
КДК	НДК	313– 748	260	$y = -0,0005x^2 + 0,9163x + 17,149$	0,41	*	*
КДК	СК	167– 419		$y = -0,0011x^2 + 1,7083x - 60,069$	0,77	48	14
СК	КДК	203– 449		$y = 0,0008x^2 + 0,2124x + 128,07$	0,77	35	12

На рисунке 2 представлена диаграмма рассеивания, показывающая, что расположение точек рассеивания указывает на возможное выявление сильной корреляционной зависимости в случае большего накопления данных и более точного учёта и разделения образцов сенажей по ботаническому составу.

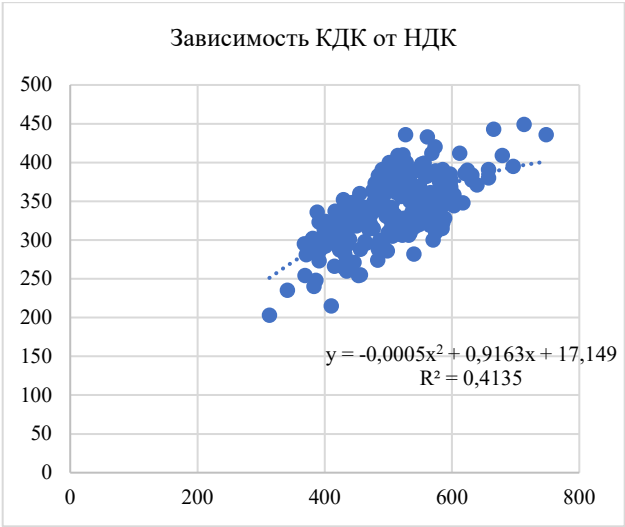


Рисунок 2 – Диаграммы рассеивания в сенаже, приготовленном из бобовых и бобово-злаковых травосмесей (не выявлены достоверные модели зависимости)

Установлена сильная зависимость КДК от СК и СК от КДК в бобовых и бобово-злаковых сенажах. Однако ошибка аппроксимации (δ), составившая 48 г (14 %) и 35 г (12 %) соответственно, указывает на недостаточность выборки и невозможность применения данных моделей зависимости на практике, так как высока вероятность большой погрешности в результатах.

Нами сформирована выборка образцов из числа бобовых сенажей, где достоверно установлено, что бобовым компонентом является люцерна в моновиде. Выборка насчитывает 79 образцов. Проведён аналогичный вышеизложенному методу анализ зависимости показателей. Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Корреляционная зависимость показателей в бобовом сенаже (люцерна в чистом виде)

Искомый показатель	Диапазон значений		Количество образцов в выборке	Математическая модель зависимости	Коэффициент детерминации, R^2	Ошибка аппроксимации (δ)	
	показатель	значения				г	%
КДК	НДК	341–675	79	$y = -0,001x^2 + 1,2833x - 56,051$	0,36	*	*
КДК	СК	167–543		$y = -0,0027x^2 + 2,4908x - 155,71$	0,78	44	13
СК	КДК	235–422		$y = 6E-05x^2 + 0,7694x + 21,793$	0,68	34	12

Представленные данные указывают на отсутствие сильной математической зависимости КДК от НДК корма. Однако следует отметить, что при формировании гораздо меньшей по численности выборки, но однородной по ботаническому составу (сенаж из люцерны), коэффициент детерминации (R^2) находится вполне на сопоставимом уровне с R^2 , полученном в общей выборке бобово-злаковых сенажей. Таким образом, можно сделать вывод о том, что однородность по ботаническому составу образцов, участвующих в анализе, является одним из ключевых условий при формировании выборки образцов для создания математической модели зависимости. При уменьшении выборки на 60 % получены сопоставимые коэффициенты детерминации.

Анализ выявил сильную зависимость показателей КДК от СК и СК от КДК в сенаже из люцерны. Однако ошибка аппроксимации (δ) на уровне соответственно 13 и 12 % указывают на невозможность практического применения данных моделей из-за недостаточности образцов в выборке и вероятность высокой погрешности получаемых результатов.

Заключение. В соответствии с поставленной целью получены следующие результаты. Достоверно установлены статистические модели зависимости КДК от НДК, КДК от СК, СК от КДК и в кукурузном силосе. Анализируемая выборка включает 2836 образцов. Коэффициент детерминации (R^2) для установленных моделей зависимости составляет 0,87–0,92, ошибка аппроксимации (δ) – в диапазоне 2–6 %, что указывает на высокую точность и возможность их использования в практической работе лаборатории в качестве дополнительного метода анализа.

Установлены достоверные модели зависимости КДК от СК и СК от КДК в злаковом и злаково-бобовом сенаже. Анализируемая выборка включает 2062 образца. Коэффициент детерминации (R^2) для установленных моделей зависимости составляет 0,76–0,68, ошибка аппроксимации (δ) составляет 4 %. Модели могут быть использованы в повседневной работе лаборатории в качестве дополнительного метода.

Установлена сильная зависимость КДК от СК и СК от КДК в бобово-злаковых сенажах и сенаже из люцерны. Однако анализ моделей показал невозможность практического применения данных моделей (ошибка аппроксимации (δ) >10 %).

В остальных анализируемых случаях нами не установлена достоверная корреляционная зависимость показателей в сенажах. Тем не менее, характер расположения точек рассеивания на диаграммах указывает на то, что достоверная зависимость не выявлена по причине недостаточной численности выборки и неоднородности кормов по ботаническому составу.

Установлено, что однородность по ботаническому составу образцов, участвующих в анализе, является одним из ключевых условий при формировании выборки образцов для создания математической модели зависимости. При вычленинии однородной по ботаническому составу выборки (сенаж из люцерны) уменьшении выборки на 60 % по сравнению с общей выборкой бобово-злаковых сенажей получены сопоставимые коэффициенты детерминации.

Благодарность. Исследования выполнены в рамках ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.; подпрограмма 1 «Природные ресурсы и их рациональное использование»; задание № 2 «Оценка загрязнения тяжелыми металлами и иными экотоксикантами почв, вод, биологических объектов природных и природно-техногенных геосистем юго-запада Беларуси и научное обоснование минимизации сопутствующих экологических рисков» в рамках задания «Природные ресурсы и окружающая среда 1.02» «Оценка и оптимальная пространственно-временная организация природных и техногенных подсистем в городах и зонах их влияния для целей устойчивого развития».

Литература

1. Мошкина, С. В. Структурные углеводы в кормлении молочного скота: учебно-методическое пособие / С. В. Мошкина, Н. В. Абрамова, Т. Ю. Колганова. – Орел, 2016. – 56 с.
2. Полноценное кормление высокопродуктивных коров / А. Ф. Карпенко, Н. П. Разумовский, Д. Т. Соболев, А. А. Царенок ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т радиобиологии. – Минск : Беларуская навука, 2021. – 433 с. – ISBN 978-985-08-2815-6.
3. Ганущенко, О. Клетчатка в рационах жвачных / О. Ганущенко // Животноводство России. – 2019. – № 10. – С. 37-43. – DOI 10.25701/ZZR.2019.72.82.010.
4. Ганущенко, О. Структурность кормосмесей для коров / О. Ганущенко // Животноводство России. – 2019. – № 12. – С. 59-61. – DOI 10.25701/ZZR.2019.59.24.020.
5. Курепин, А. А. Динамика накопления нейтрально- и кислотно-детергентной клетчатки в зелёной массе кукурузы / А. А. Курепин // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2021. – Т. 56, ч 1. – С. 235–241.
6. Курепин, А. А. Использование современных методов оценки качества силоса кукурузного с учетом содержания нейтрально- и кислотно-детергентной клетчатки / А. А. Курепин // Зоотехническая наука Беларуси : сб. науч. тр. – Жодино, 2020. – Т. 55, ч 2. – С. 21–29.
7. Попов, В. В. Прорывные новации в оценке качества и питательности кормов / В. В. Попов // Адаптивное кормопроизводство. – 2020. – № 3. – С. 65-76. – DOI 10.33814/AFR-2222-5366-2020-3-65-76.
8. Иванова, Е. П. Фракционный состав клетчатки в оценке качества современных кормов / Е. П. Иванова // Аграрный вестник Приморья. – 2020. – № 3. – С. 17–21.
9. Силос и силосованные корма из кукурузы. Общие технические условия : СТБ 1223-2024. – Введ. 01.02.2025. – Минск : Госстандарт, 2024. – 17 с.
10. Сенаж. Общие технические условия : СТБ 2662-2024. – Введ 01.02.2025. – Минск : Госстандарт, 2024. – 14 с.
11. Пастухова М. А. Взаимосвязь компонентов структурной клетчатки в травяных консервированных кормах / М. А. Пастухова, З. А. Зайцева, Б. В. Шелюто // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2024. – № 2. – С. 101–107.
12. Рядчиков, В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебно-практическое пособие / В. Г. Рядчиков. – Краснодар : КубГАУ, 2012. – 328 с.
13. Попов, В. В. Этюды оценки качества кормов и рационов США в России / В. В. Попов // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 65–80.

Поступила 28.02.2025 г.