

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОМПОНЕНТОВ СТРУКТУРНОЙ КЛЕТЧАТКИ ТРАВЯНЫХ КОНСЕРВИРОВАННЫХ КОРМОВ

М. А. ПАСТУХОВА, З. А. ЗАЙЦЕВА

Государственное научное учреждение «Полесский аграрно-экологический институт
Национальной академии наук Беларуси»,
г. Брест, Республика Беларусь, 224030, e-mail: pastukhova.marina@inbox.ru

Б. В. ШЕЛЮТО

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407

(Поступила в редакцию 23.08.2024)

В статье представлены данные статистического анализа качественных показателей травяных кормов, заготовленных предприятиями АПК Брестской области в 2021–2024 гг. Установлены достоверные математические модели зависимости НДК от СК и КДК в силосе кукурузном. Коэффициенты детерминации в отношении зависимости НДК от СК составляет 0,88, ошибка аппроксимации относительно данных, получаемых спектральным БИК-анализом (спектральный анализ в ближней инфракрасной области) составляет 14,7 г или 3 %. Модель может быть использована при СК исследуемого образца 149–414 г/кг СВ.

Коэффициенты детерминации в отношении зависимости НДК от КДК в кукурузном силосе составляет 0,92, ошибка аппроксимации – 11 г, или 2 %. Модель может быть использована, если КДК исследуемого образца находится в диапазоне значений 138–398 г/кг СВ.

Коэффициенты детерминации в отношении зависимости СК от НДК в кукурузном силосе составляет 0,87, ошибка аппроксимации 14 г, или 6 %. Модель может быть использована при значениях НДК исследуемого образца, находящихся в диапазоне 263–675 г/кг СВ.

Не установлена достоверная корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в сенажах, приготовленных из злаково-бобовых и бобово-злаковых травосмесей. Установлено, что при создании математической модели зависимости показателей корма, ключевым фактором является однородность образцов по ботаническому составу. При формировании на 60 % меньшей выборки образцов, но состоящей из однородных по ботаническому составу кормов (сенаж из люцерны), коэффициент детерминации (R^2) незначительно уступает разнотравным сенажам (0,49 против 0,52) в отношении математической зависимости НДК от СК корма, и, в то же время, он выше в отношении зависимости НДК от КДК (0,43 против 0,42), и выше в отношении зависимости СК от НДК (0,56 против 0,52).

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

The article presents the data of statistical analysis of quality indicators of grass forages harvested by agricultural enterprises of the Brest region in 2021–2024. Reliable mathematical models of the dependence of NDF on RF and ADF in corn silage have been established. The determination coefficient for the dependence of NDF on RF is 0.88, the approximation error relative to the data obtained by spectral NIR analysis (spectral analysis in the near infrared region) is 14.7 g or 3 %. The model can be used when the RF of the studied sample is 149–414 g/kg DM. The determination coefficient for the dependence of NDF on ADF in corn silage is 0.92, the approximation error is 11 g or 2 %. The model can be used if the ADF of the studied sample is in the range of 138–398 g/kg DM. The coefficients of determination for the dependence of RF on NDF in corn silage are 0.87, the approximation error is 14 g or 6%. The model can be used for NDF values of the studied sample in the range of 263–675 g/kg DM. No reliable correlation dependence of NDF on RF and ADF has been established in haylages prepared from cereal-legume and legume-cereal grass mixtures. It has been established that when creating a mathematical model of the dependence of feed indicators, the homogeneity of samples by botanical composition is a key factor. When forming a 60 % smaller sample set, but consisting of feeds homogeneous in botanical composition (alfalfa silage), the determination coefficient (R^2) is slightly inferior to mixed-grass silages (0.49 versus 0.52) in relation to the mathematical dependence of NDF on feed RF, and, at the same time, it is higher in relation to the dependence of NDF on ADF (0.43 versus 0.42), and higher in relation to the dependence of RF on NDF (0.56 versus 0.52).

Key words: determination coefficient, approximation error, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), raw fiber (RF), mathematical model of dependence.

Введение

По данным Национального статистического комитета (Белстат), в 2023 году сельхозпредприятия Беларуси произведено рекордное количество молока – 8140,7 тысяч тонн [1], что на 6 % превышает данный показатель 2022 года [2]. Благодаря высокой рентабельности молочное скотоводство является источником постоянных финансовых поступлений, в том числе экспортных [3]. В этой связи одним из приоритетных направлений в развитии молочного скотоводства, как ведущей отрасли животноводства республики, определена максимальная реализация потенциала продуктивности животных.

Первостепенным в решении поставленной государством задачи является создание прочной кормовой базы. При этом особое значение уделяется качеству кормов, так как это залог получения молока

высокого качества и сохранения здоровья животных [4]. О качестве корма судят по его питательности, включающей в себя ряд показателей, первичным среди которых является химический состав корма [5, 6]. Для его определения используют стандартные схемы проведения биохимических и зоотехнических анализов.

Практически во всех специализирующихся лабораториях Республики Беларусь по определению химического состава кормов для сельскохозяйственных животных используют систему зоотехнического анализа, разработанную в 1860 году немецкими учеными В. Геннербергом и Ф. Штоманом. Ее особенность заключается в том, что в результате проведения ряда анализов по данной схеме определяют содержание определенных групп веществ, содержащихся в кормах совместно с примесями. Такие вещества называют сырыми, или «неочищенными».

Одним из ключевых показателей качества корма является сырая клетчатка (СК), представляющая собой часть корма, которая остается после кипячения навески корма в растворе кислоты и растворе щелочи и последующего промывания водой, спиртом и эфиром [7]. Сырой такую клетчатку называют потому, что помимо «чистого» вещества (целлюлозы), в ее состав входят частично гемицеллюлоза и лигнин [5].

Важность клетчатки в рационе КРС обусловлена физиологией животных (многокамерный желудок) и способностью переваривать большое количество клетчатки. Образующиеся летучие жирные кислоты (ЛЖК) в результате метаболических превращений клетчатки покрывают примерно 70 % энергетических потребностей животного [11]. Клетчатка также возбуждает у животных рефлекс слюноотделения, что имеет важное значение в питании КРС, так как слюна способствует поддержанию оптимальной кислотности в рубце коровы – на уровне 6,5–7,0 ед. рН [5]. Обеспечивает нормальную моторику ЖКТ, механически воздействуя на рецепторы преджелудков [9–11], придает поедаемому корму рыхлость и определенный объем, способствуя тем самым хорошему наполнению пищеварительного тракта [10, 11], связывает и выводит из организма животных токсины, тяжелые металлы и радионуклиды [7].

Несмотря на важность и широкое использование на практике СК не является информативным показателем. Он отражает лишь часть целлюлозы и лигнина: максимум 40 % фактического содержания в кормах целлюлозы и гемицеллюлозы [13]. Более 50 % структурных углеводов в виде целлюлозы и гемицеллюлозы остаются не учтенными. Таким образом, простой анализ СК по системе В. Геннеберга и Ф. Штомана не может быть использован для составления качественно сбалансированного рациона для КРС. Данный показатель дает лишь приблизительное представление о различиях в степени переваримости кормов [12, 14–16].

Во многих зарубежных странах в своей зоотехнической практике показатель СК перестали использовать около 30–40 лет назад [17]. Там используют альтернативную процедуру определения клетчатки – систему дивергентного анализа Ван Соеста, основу которой составляют чистые субстраты веществ. Принципиальное преимущество данной схемы заключается в усовершенствовании оценки углеводов [6], которые она разделяет на 2 группы: структурные (волокнистые) и неструктурные (не волокнистые).

Структурные углеводы в свою очередь подразделяются на фракции: нейтрально-детергентная клетчатка (НДК), состоящая из почти полностью перевариваемой гемицеллюлозы, частично перевариваемой целлюлозы); кислотно-детергентная клетчатка (КДК) – наиболее трудно перевариваемая микроорганизмами рубца фракция клетчатки, состоящая из целлюлозы, лигнина и кремния; кислотно-детергентный лигнин (КДЛ). Все эти три показателя (НДК, КДК и КДЛ) считаются более достоверными и информативными по сравнению с СК.

НДК служит индикатором качества кормов растительного происхождения [12]. По данному показателю определяют переваримость и питательную ценность растительного корма, оценивают потенциальную поедаемость рациона (наполнение рубца) животным, с учетом вместимости рубца. Содержание НДК в рационе положительно коррелирует с количеством произведенного молока, так как именно гемицеллюлоза, составляющая большую часть НДК, способствуют повышению надоев [12].

Качество кормов определяют степенью их соответствия требованиям национальных стандартов. Существующие в настоящий период в РБ ТНПА не содержат сведений и требований к кормам, предназначенным на кормовые цели, по содержанию фракционного состава клетчатки (НДК, КДК и КДЛ), отсутствуют данные о нормировании этих показателей при составлении рационов для молочных коров [13]. Это может быть связано с тем, что в РБ определение КДК, НДК и КДЛ не получило широкого распространения из-за того, что отечественные лаборатории, за редким исключением, не оснащены специальными приборами и реактивами для определения данных показателей. В Европе НДК, КДК и

КДЛ нормируют согласно контрольным значениям голландской лаборатории BLGG AgroXpertus (НДК для силоса 370 – 420 г/кг СВ; для сенажа 350–450 г/кг СВ) [15].

По данным Я. Роусек [11] молочным коровам обычно требуется не менее 30 % НДК в сухом веществе. При содержании в корме НДК ниже этого значения удой немного увеличивается, но при этом наблюдается снижение содержания жира в молоке. В случае превышения значения оптимального содержания НДК в корме жирность молока увеличивается, а количество молока снижается.

По оценке Ю. В. Сизовой [19] оптимальное содержание НДК в рационах коров составляет 310–350 г/кг СВ. Исследованиями Н. С. Муравьевой [20] оптимальный уровень НДК в расчёте на сухое вещество в рационе коров после 100 дней лактации определен в пределах 320–370 г/кг СВ.

Интересен тот факт, что в европейских странах, в отличие от США, НДК и КДК определяют, но в то же время от СК не отказываются [18].

Целью данных исследований являлось определение математической зависимости НДК от КДК и СК в травяных кормах.

Основная часть

Лабораторные исследования проводились в Отраслевой научно-исследовательской лаборатории качества кормов Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Учет и хранение данных проводилось при помощи компьютерной программы баз данных Access, математическая обработка данных – при помощи программы Excel.

Корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в кукурузном силосе показана в табл. 1.

Таблица 1. Корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в кукурузном силосе

Искомый показатель	Диапазон значений, г		Количество образцов в выборке, шт	Математическая модель зависимости	Коэффициент детерминации, R ²	Ошибка аппроксимации	
	показатель	значения				г	%
НДК	СК	149–414	2836	$y = -0,0016x^2 + 2,4494x + 6,0313$	0,88	14,7	3
НДК	КДК	138–398		$y = 0,0018x^2 + 2,4186x - 32,87$	0,92	11	2
СК	НДК	263–675		$y = 5E-0,5x^2 + 0,4621x + 0,5045$	0,87	14	6

Согласно данным табл. 1, выявлена статистическая взаимосвязь между показателями НДК и СК; НДК и КДК; СК и НДК в кукурузном силосе. Данная взаимосвязь установлена в выборке образцов, включающей 2836 шт., однородных по ботаническому составу (силос изготовлен из одной культуры – кукурузы). Зависимость НДК от содержания СК в силосе может быть описана полиномиальной кривой с коэффициентом детерминации (R²) 0,88. Ошибка аппроксимации 14,7 г, или 3 % по отношению к данным, получаемым спектральным БИК анализом (анализ в ближней инфракрасной области) указывает на высокую точность полученной математической модели зависимости. Модель может быть использована в качестве дополнительного метода определения НДК в кукурузном силосе. Данная математическая модель зависимости НДК от СК может использоваться при условии, что содержание СК в кукурузном силосе известно и находится в диапазоне значений от 149 до 414 г/кг СВ.

Установлена достоверная зависимость НДК от содержания КДК в кукурузном силосе. Математическая модель зависимости представлена полиномиальной кривой, коэффициент детерминации (R²) 0,92. Ошибка аппроксимации составляет 11 г, или 2 % по отношению к данным, получаемым спектральным БИК-анализом, что указывает на высокую точность модели и возможность ее использования в качестве дополнительного метода анализа НДК кукурузного силоса. Данная математическая модель может быть использована при условии, что содержание КДК в кукурузном силосе известно и находится в диапазоне значений 138–398 г/кг СВ.

Выявлена также корреляционная зависимость содержания СК в кукурузном силосе от содержания НДК. Математическая модель зависимости описывается полиномиальной кривой, коэффициент детерминации (R²) 0,87. Ошибка аппроксимации данной модели составляет 14 г, или 6 % относительно данных, получаемых в стандартных условиях лабораторий при высушивании навески корма до абсолютно сухого вещества. Данная модель может быть использована как дополнительный метод определения СК корма при условии, что НДК известен и находится в диапазоне значений 263–675 г/кг СВ.

Проведен аналогичный анализ зависимости НДК от СК и КДК в сенаже, приготовленном из злаковой и злаково-бобовой травосмеси (табл. 2).

Таблица 2. Корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в злаковом и злаково-бобовом сенаже

Искомый показатель	Диапазон значений, г		Количество образцов в выборке	Математическая модель зависимости	Коэффициент детерминации, R ²
	показатель	значения			
НДК	СК	115–629	2062	$y = -0,0012x^2 + 2,3746x - 41,924$	0,63
НДК	КДК	181–474		$y = 1,1816x + 146,88$	0,44
СК	НДК	351–751		$y = 0,3847x + 82868$	0,64

Как видно из табл. 2, в отношении корма, приготовленного из злаковой и злаково-бобовой травосмеси не выявлена достоверная математическая модель зависимости. Однако характер расположения точек рассеивания на диаграммах (рис. 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).

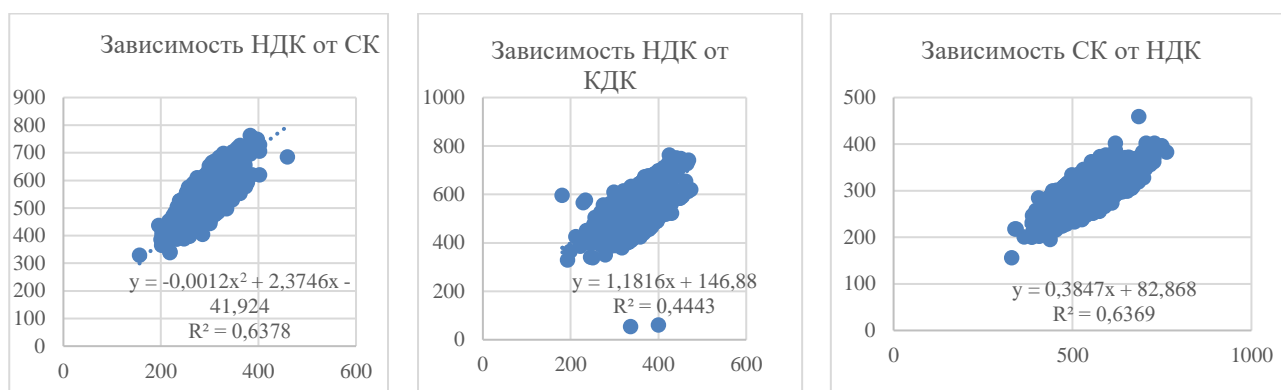


Рис. 1. Диаграммы рассеивания в сенаже, приготовленном из злаковых и злаково-бобовых травосмесей

Анализ статистической взаимосвязи НДК от СК и КДК в сенажах, приготовленных из бобовых и бобово-злаковых травосмесей в выборке, насчитывающей 260 образцов также, не выявил достоверной корреляционной зависимости. Наивысшие значения из полученных коэффициентов детерминации (R^2) находятся в диапазоне значений от 0,42 до 0,52 и описываются полиномиальной линией тренда (табл. 3).

Таблица 3. Корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в бобовом и бобово-злаковом сенаже

Искомый показатель	Диапазон значений		Количество образцов в выборке	Математическая модель зависимости	Коэффициент детерминации, R^2
	показатель	значения			
НДК	СК	195–428	260	$y = -0,0004x^2 + 1,3239x + 77,761$	0,52
НДК	КДК	203–449		$y = -0,0005x^2 + 0,8727x + 34,634$	0,42
СК	НДК	313–748		$y = -4E-05x^2 + 0,3772x + 112,85$	0,52

На рис. 2 представлены диаграммы рассеивания, показывающие, что расположение точек рассеивания указывает на возможное выявление корреляционной зависимости в случае большего накопления данных.

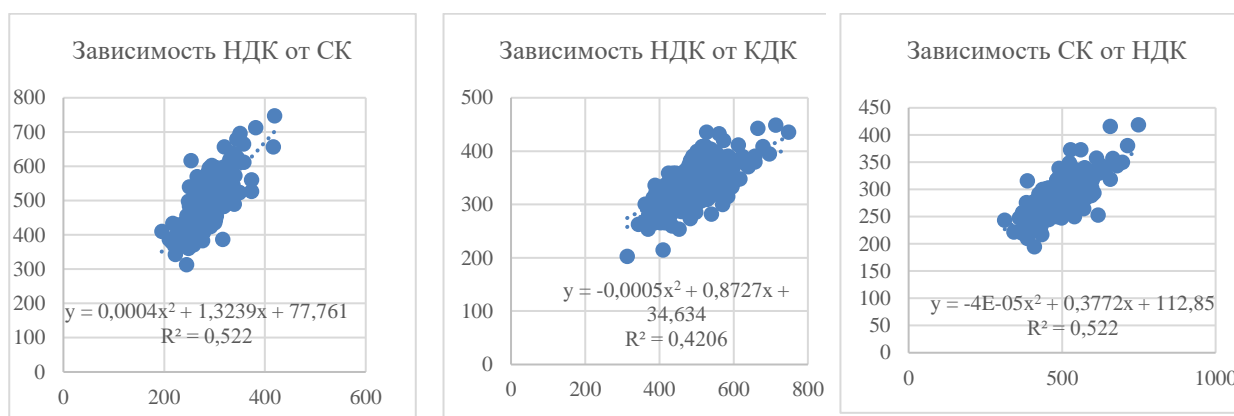


Рис. 2. Диаграммы рассеивания в сенаже, приготовленном из бобовых и бобово-злаковых травосмесей

Нами сформирована выборка образцов из числа бобовых сенажей, где достоверно установлено, что бобовым компонентом является только люцерна. Выборка насчитывает 79 образцов. Проведен аналогичный вышеизложенному методу анализ зависимости НДК от СК и КДК в люцерновом сенаже. Данные представлены в табл. 4.

Таблица 4. Корреляционная зависимость НДК от СК и КДК в бобовом сенаже (люцерна в чистом виде)

Искомый показатель	Диапазон значений		Количество образцов в выборке	Математическая модель зависимости	Коэффициент детерминации, R ²
	показатель	значения			
НДК	СК	210–328	79	$y=1,376x+76,558$	0,49
НДК	КДК	266–380		$y=-0,0034x^2+3,3492x-270,16$	0,43
СК	НДК	343–595		$y=-0,002x^2+2,2504x-322,6$	0,56

Представленные в табл. 4 данные указывают на отсутствие достоверной математической зависимости НДК от СК и КДК корма. Однако, следует отметить, что при формировании выборки однородного по ботаническому составу корма (сенаж из люцерны), коэффициент детерминации (R²) незначительно уступает смешанным травосмесям (0,49 против 0,52) в отношении математической зависимости НДК от СК корма, но, в то же время, он выше в отношении зависимости НДК от КДК (0,43 против 0,42), и выше в отношении зависимости СК от НДК (0,56 против 0,52). 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.

Заключение

В соответствии с поставленной целью получены следующие результаты. Достоверно установлены статистические модели зависимости НДК от СК и КДК в кукурузном силосе. Анализируемая выборка включает 2836 образцов. Математическая модель зависимости НДК от СК и КДК кукурузного силоса описывается полиномиальными линиями тренда. Коэффициент детерминации для математической модели зависимости НДК от СК составляет 0,88, ошибка аппроксимации – 14,7 г или 3 % относительно данных, получаемых спектральным БИК-анализом. Установленная математическая модель зависимости может быть использована в качестве дополнительного метода определения НДК при условии, что значения СК находятся в диапазоне 149–414 г/кг СВ.

Коэффициент детерминации для математической модели зависимости НДК от КДК составляет 0,92, ошибка аппроксимации 11 г, или 2 % относительно данных, получаемых спектральным БИК-анализом. Данная математическая модель зависимости может быть использована в качестве дополнительного метода определения НДК при условии, что значение КДК находится в диапазоне 138–398 г/кг СВ.

Коэффициент детерминации математической модели зависимости СК от НДК в кукурузном силосе составляет 0,87, ошибка аппроксимации – 14 г, или 6 % относительно данных, получаемых в лабораторных условиях высушиванием образца до абсолютно сухого вещества. Данная модель может быть использована как дополнительный метод определения СК корма при условии, что значение НДК находится в диапазоне 263–675 г/кг СВ.

Нами не установлена достоверная корреляционная зависимость НДК от СК и КДК 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.

При формировании выборки однородного по ботаническому составу сенажа (люцерна в чистом виде), выявлено, что однородность по ботаническому составу образцов, участвующих в анализе, является одним из ключевых условий создания математической модели зависимости.

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» (№ ГР, 2021–2025 гг.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные социально-экономические показатели по Республике Беларусь, областям и городу Минску в январе-декабре 2023 г.: статистический бюллетень / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2024. – 102 с.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь: статистический буклет. / под ред. И. В. Медведевой и др. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2023.
3. Карпенко А. Динамика развития молочного скотоводства Беларуси // Аграрная экономика. – 2021. – № 11. – С. 71–77.

4. Биологические основы кормления животных и птицы: учебное пособие для студентов / Л. Н. Гамко и др. – Брянск: изд-во БГАУ, 2015. – 252 с.
5. Зоотехнический анализ кормов: учебное пособие / Л. Н. Дулепинских и др. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2022. – 91 с.
6. Практическое руководство по использованию кормовых ресурсов в кормопроизводстве: практическое руководство / Н. Н. Зенькова и др.; под общ. ред. Н. Н. Зеньковой, О. Ф. Ганущенко. – Витебск: ВГАВМ, 2021. – 176 с.
7. Ганущенко О. Клетчатка в рационах жвачных // Животноводство России. – 2019. – № 10. – С. 37–42.
8. Организационно-технологические требования при производстве молока на молочных комплексах промышленного типа: республиканский регламент / И. В. Брыло и др.; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск: Журнал «Белорусское сельское хозяйство», 2014. – 108с.
9. Технологическое сопровождение животноводства: новые технологии: практ. пособие / Н. А. Попков и др.; НАН Беларуси, РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». – 2-е изд. – Жодино: НПЦ НАН Беларуси по животноводству, 2013. – 490 с.
10. Ганущенко, О. Структурность кормосмесей для коров // Животноводство России. – 2019. – № 12. – С. 59–61.
11. Роусек Я. Роль клетчатки в кормлении дойного стада // Наше сельское хозяйство. Ветеринария и животноводство. – 2021. – № 24. – С. 66–69.
12. Мошкина С. В., Абрамкова Н. В., Колганова Т. Ю. Структурные углеводы в кормлении молочного скота: учебно-методическое пособие. – Орел, 2016. – 56 с.
13. Курепин А. А. Динамика накопления нейтрально- и кислотно-детергентной клетчатки в зеленой массе кукурузы // Зоотехническая наука Беларуси. – 2021. – Т. 56, № 1. – С. 235–241.
14. Курепин А. А. Использование современных методов оценки качества силоса кукурузного с учетом содержания нейтрально- и кислотно-детергентной клетчатки // Зоотехническая наука Беларуси. – 2020. – Т. 55, № 2. – С. 21–29.
15. Попов В. В. Прорывные новации в оценке качества и питательности кормов // Адаптивное кормопроизводство. – 2020 – № 3. – С. 65–76.
16. Иванова Е. П. Фракционный состав клетчатки в оценке качества современных кормов // Аграрный вестник Приморья. – 2020. – № 3. – С. 17–21.
17. Рядчиков В. Г. Основы питания и кормления сельскохозяйственных животных: учебно-практическое пособие. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 328 с.
18. Попов В. В. Этюды оценки качества кормов и рационов США в России // Адаптивное кормопроизводство. – 2021. – № 1. – С. 65–80.
19. Сизова Ю. В. Влияние разного уровня нейтрально-детергентной клетчатки в рационе на обеспеченность коров аминокислотами // Вестн. НГАУ. – 2014. – № 4. – С. 109–114.
20. Влияние разного уровня НДК, КДК в рационах на молочную продуктивность коров / Н. С. Муравьева и др. // Вестник АПК Верхневолжья. – 2014. – № 2. – С. 39–43.