

4. Викторов, П. И. Методика и организация зоотехнических опытов / П. И. Викторов, В. К. Менькин. – Москва : Агропромиздат, 1991. – 112 с.
5. Нормы кормления крупного рогатого скота : справочник / Н. А. Попков [и др.]. – Жодино, 2001. – 260 с.
6. Организационно-технологические требования при производстве молока на молочных комплексах промышленного типа / И. В. Брыло [и др.]; Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2014. – 108 с.
7. NRC. Nutrient Requirements of Beef Cattle. – 7th ed. – Washington, DC, 2001. – 401 p.
8. Технологическое сопровождение животноводства: новые технологии : практ. пособие / Н. А. Попков [и др.]; Науч.-практический центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино, 2010. – 496 с.

Поступила 6.05.2024 г.

УДК 636.085.52:633.15

А.А. КУРЕПИН

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СТРУКТУРНЫХ УГЛЕВОДОВ КУКУРУЗНОГО СИЛОСА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЦЕННОСТЬ

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь*

В представленной работе изучен состав структурных углеводов кукурузного силоса и установлены их взаимосвязи с энергетической ценностью. Исследования показали, что между целлюлозой и лигнином, как комплекса входящего в состав кислотно-детергентной клетчатки, корреляционная связь была высокой и отрицательной – $r = -0,71$. Установлено, что среднее содержание лигнина в отобранных образцах составляла $6,97\% \pm 0,06$, корреляционная связь между структурными углеводами КДК и содержанием лигнина была незначительной и слабой – $r = 0,15$. Исходя из полученных корреляционных связей, можно сделать вывод, что при увеличении концентрации лигнина с возрастом растения происходит количественное уменьшение содержания целлюлозы в клеточной стенке растений.

Ключевые слова: структурные углеводы, целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин кукурузный силос.

INFLUENCE OF CORN SILAGE STRUCTURAL CARBOHYDRATE COMPOSITION ON ENERGY VALUE

Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Republic of Belarus

In the presented work, the composition of structural carbohydrates of corn silage was studied and their correlations with energy value were established. The research showed that between cellulose and lignin, as a complex included in the acid detergent fiber, the correlation relationship was high and negative – $r = -0.71$. It was found that the average lignin content in the selected samples was $6.97\% \pm 0.06$, the correlation between the structural carbohydrates of ADF and lignin content was insignificant and weak – $r = 0,15$. Based on the obtained correlations, it may be concluded that with increasing lignin concentration with plant age, there is a quantitative decrease in cellulose content in the plant cell wall.

Keywords: structural carbohydrates, cellulose, hemicellulose, lignin, corn silage.

Введение. Клеточная стенка, её структура и состав сильно различаются в зависимости от вида растения, тканей и изменяются по мере роста и развития растения. Все полисахариды стенок растительных клеток потенциально перевариваются бактериями рубца, простейшими и грибами. В классических обзорах [1, 2, 3, 4] указывается на значение анатомо-химического строения листа и стебля и отрицательное влияние лигнина на способность микробов рубца переваривать НДК.

В рубце лигнин является основным фактором, ограничивающим переваривание клеточных стенок [5], и его присутствие дополнительно ограничивает переваривание полисахарида фракция, с которой он поперечно связан. Бактерии рубца могут получить доступ к нелигнифицированным частям клеточных стенок либо на внешней открытой поверхности клеточной стенки, внутрь через просвет и через прилегающие клеточные стенки [6, 7]. Высокая концентрация лигнина в первичных стенках создает барьер для микробов, предотвращая полное переваривание клетки растений [8, 9]. Бактерии рубца переваривают клетки изнутри, сначала переваривая вторичную стенку, а затем первичную [9]. Малая доступность поверхности стенки растений к микроорганизмам рубца подчёркивают важность процесса жевания, вызывающего физическое разрушение лигнифицированных растительных клеток [8], а также увеличение доступной площади поверхности для микробной колонизации [5]. Подсчитано, что в съеденном рационе примерно треть клеток травянистых кормов покидают рубец, не перевариваясь из-за

недоступности или отсутствие их контакта с микробами рубца [4].

Химический состав и особенно питательность клеточных оболочек или клетчатки зависит от возраста растений: у молодых растений клеточные стенки тонкие и состоят преимущественно из целлюлозы. С возрастом растений клетчатка пропитывается инкрустирующими веществами (лигнином), и её питательная ценность резко понижается. Природа лигнин-углеводного комплекс варьируется в зависимости от типа клеточной стенки и вида растения [10]. Количество лигнина увеличивается при созревании растений и может достигать 30 % при поздних фазах заготовки кормов. Его молекула вырастает, обволакивает углеводы, что приводит к снижению переваримости клетчатки. Следовательно, переваримость и потребление клетчатки ограничены наличием в ней лигнина [11]. В травах лигнин связан с фракцией гемицеллюлозы через феруловые поперечные связи, что приводит к снижению перевариваемости клеточной стенки, независимо от концентрации лигнина [12, 13].

Химия кормового лигнина и его биосинтез были рассмотрены ещё в 1989 году Jung H.G. [14], так как лигнин – это неуглеводный полимер, состоящий из фенольных звеньев, которые сильно «сшиты» с образованием лигнин-углеводного комплекса.

Целью работы стало изучение состава структурных углеводов кукурузного силоса и установление их взаимосвязи с энергетической ценностью.

Материал и методика исследований. Для достижения поставленной цели и решения задач данных исследований были проведены в период 2021-2023 годов лабораторные опыты по определению количественного содержания фракционного состава сырой клетчатки.

Химический анализ кормов проводили по схеме зоотехнического анализа: определение массовой доли влаги – по ГОСТу 27548-97 п. 7; массовая доля азота (сырого протеина) – по ГОСТу 13496.4-93 п. 3 с применением автоматического анализатора UDK 159 (VELP, Италия); массовая доля сырой клетчатки – по ГОСТу 13496.2-91, а также НДК и КДК с применением полуавтоматического анализатора FIWE-6; массовая доля сырого жира – по ГОСТу 13496.15-2016 п. 9.1; массовая доля золы – по ГОСТу 26226-95. Нейтрально-детергентную клетчатку (или фракцию, нерастворимую в нейтральном детергенте – НДК) и кислотнo-детергентную клетчатку (или фракцию, не растворимую в кислотном детергенте – КДК), лигнин, целлюлозу и гемицеллюлозы определяли согласно методике Курилова Н.В. [15] и модифицированной методике Van-Soest [16].

Цифровые материалы обработаны методом вариационной статистики на персональном компьютере с использованием пакета

статистики Microsoft Excel. Статистическая обработка результатов анализа проведена по методу Стьюдента.

При оценке значения критерия достоверности (td) исходили в зависимости от объёма анализируемого материала. Вероятность различий считается достоверной при $P < 0,05$.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Из полученных данных по химическому составу силоса кукурузного следует, что содержание структурных углеводов в среднем находилось на уровне: сырой клетчатки – 21,0 % с вариацией от 17,1 до 26,0 %, нейтрально-детергентной клетчатки – 47,75 % с вариацией 39,43-53,54 %, кислотнo-детергентной клетчатки – 25,31 % с вариацией 20,7-28,43 %. Данный размах по содержанию структурных углеводов объясняется различным содержанием сухого вещества в силосах. Так, среднее содержанию сухого вещества по выборке составило 32,25 %.

При расчёте кормовой и энергетической ценности силоса кукурузного следует, что содержание обменной энергии варьировало от 9,55 до 10,24 МДж, кормовых единиц – от 0,88-до 0,94 ед. и зависело от содержания структурных углеводов.

Определены взаимосвязи энергетической и кормовой ценности кукурузного силоса в зависимости от содержания структурных углеводов. В исследованных образцах кукурузного силоса, заготовленного в различные фазы вегетации (молочно-восковая-восковая), установлены отрицательные коррелируемые связи $r = -0,8$ между показателями обменной энергией и содержанием сырой клетчаткой, а также обменной энергией и нейтрально-детергентной клетчаткой (НДК) $r = -0,9$. При этом отмечена положительная корреляция $r = 0,5$ между сырой клетчаткой и накоплением нейтрально-детергентной клетчатки. Выявлено, что при увеличении содержания структурных углеводов происходит снижение обменной энергии в корме.

При определении показателей структурных углеводов в кукурузном силосе отмечается их различное содержание. Так, при содержании обменной энергии с 10,0-10,3 МДж в сухом веществе, содержание сырой клетчатки находилось в среднем на уровне 19,04 %, нейтрально-детергентной клетчатки – 38,03 %. При формировании массива образцов силоса кукурузного с содержанием обменной энергии с 9,99-9,81 МДж содержание сырой клетчатки и НДК в среднем составило 20,4 и 41,21 %, и при формировании группы образцов силоса кукурузного с содержанием обменной энергии с 9,80-9,51 МДж содержание сырой клетчатки в среднем находилось на уровне $24,5 \pm 0,34$ и НДК – $49,12 \pm 0,71$.

В ходе изучения состава структурных углеводов при проведении химического анализа силоса кукурузного (рисунок 1) установлено, что

среднее содержание лигнина в отобранных образцах составляла 6,97 % \pm 0,06, при этом вариация по выборке от минимального до максимального значения составила от 1,41 до 19,51 %. При этом следует отметить, что корреляционная связь между структурными углеводами КДК и содержанием лигнина была незначительной и слабой $r = 0,15$.

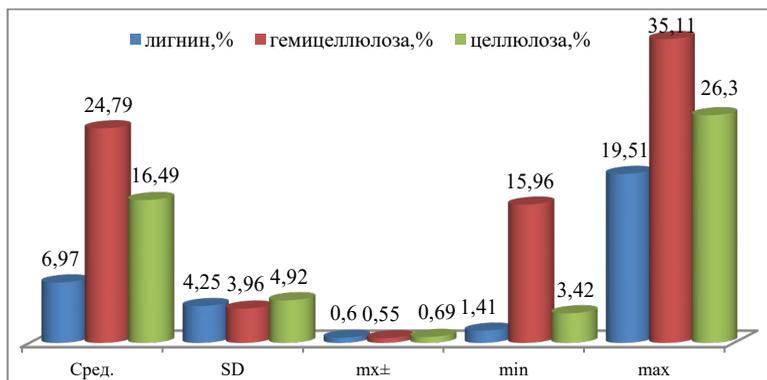


Рисунок 1 – Содержание структурных компонентов сырой клетчатки в силосе кукурузном

Более полную характеристику структурных углеводов даёт анализ по фракциям – целлюлозы и гемицеллюлозы. Целлюлоза – главный сложный углевод, отвечающий за прочность оболочки растений. В клеточных стенках молекулярные цепи целлюлозы входят в состав надмолекулярных структур – микрофибрилл, состоящих из 60-70 целлюлозных нитей. Переваримость целлюлозы может составлять 15-20 % рациона сухого вещества. Целлюлоза также имеется в клеточной оболочке со степенью переваримости до 70 %. Гемицеллюлоза может составлять 10-15 % сухого вещества рациона, является запасным питательным веществом в оболочках растительных клеток. Гемицеллюлозы представляют собой гетерополисахариды, содержащие остатки различных гексоз, пентоз и их производных. Они растворяются гораздо легче, чем целлюлоза, что определяется более рыхлым строением их молекул, большей доступностью для растворителей. Содержание целлюлозы в кормах и таких пищевых волокнах, как пектин, лигнин, играют важную роль в деятельности пищеварительного аппарата, обеспечивая формирование гелеобразных структур, которые, в свою очередь, контролируют опорожнение желудка, скорость всасывания в тонком кишечнике и время транзита через желудочно-кишечный тракт. Кроме того, целлюлоза и сопровождающие её полимерные соединения влияют на

внутриполостное давление пищеварительного тракта [17, с. 38-40].

При изучении состава структурных углеводов по содержанию целлюлозы, гемицеллюлозы клеточной стенки кукурузного силоса установлено, что содержание гемицеллюлозы было на уровне 24,79 % \pm 0,55, при этом минимальное значение этого показателя было на уровне 15,96 %, максимальное – 35,11 %. Количественное содержание целлюлозы в клеточной стенке кукурузного силоса в среднем составило 16,49 % \pm 0,69. Также установлено, что между целлюлозой и лигнином, как комплекса, входящего в состав кислотно-детергентной клетчатки, корреляционная связь была высокой и отрицательной $r = -0,71$. Это связано с тем, что в процессе развития клеточная стенка растений состоит из первичной стенки, в основном состоящей из целлюлозы. После клетки завершают рост и удлинение, вторичное утолщение в клеточной стенке происходит с отложением целлюлозы и гемицеллюлозы [18]. После того, как осаждение вторичной стенки завершено, первичная стенка растения одревесневает, а затем одревеснение переходит в отложение вторичной стенки, которое происходит на внутренней поверхности просвета клетки. Концентрация лигнина самая высокая в первичной стенке, но поскольку вторичная стенка больше по объему и массе, тем больше лигнина содержится в нем [19]. Также во время созревания растения происходит большее накопление стеблевой массы по сравнению с листовым материалом, стебли которого содержат больше ткани с вторичным утолщением [8] и, следовательно, более высокие концентрации целлюлозы, ксилана и лигнина [5].

Таким образом, исходя из полученных корреляционных связей, можно сделать вывод, что при увеличении концентрации лигнина с возрастом растения происходит количественное уменьшение содержания целлюлозы в клеточной стенке растений.

Заключение. Установлены взаимосвязи энергетической ценности кукурузного силоса в зависимости от содержания структурных углеводов. В исследованных образцах кукурузного силоса, заготовленного в различные фазы вегетации (молочно-восковая-восковая), установлены отрицательные коррелируемые связи $r = -0,8$ между показателями содержанием сырой клетчаткой и обменной энергией, а также обменной энергией и нейтрально-детергентной клетчаткой (НДК) $r = -0,9$. При этом отмечена положительная корреляция $r = 0,5$ между сырой клетчаткой и накоплением нейтрально-детергентной клетчатки. Выявлено, что при увеличении содержания структурных углеводов происходит снижение обменной энергии в корме.

В ходе изучения состава структурных углеводов клеточной стенки кукурузного силоса по содержанию лигнина установлено, что среднее

содержание лигнина в отобранных образцах составляла $6,97 \% \pm 0,06$, при этом вариация по выборки от минимального до максимального значения составляла от 1,41 до 19,51 %. Также следует отметить, что корреляционная связь между структурными углеводами КДК и содержанием лигнина была незначительной и слабой ($r = 0,15$).

Изучен состав структурных углеводов по содержанию целлюлозы, гемицеллюлозы клеточной стенки кукурузного силоса. Установлено, что содержание гемицеллюлозы было на уровне $24,79 \% \pm 0,55$, при этом минимальное значение этого показателя было на уровне 15,96 %, максимальное – 35,11 %. Количественное содержание целлюлозы в клеточной стенке кукурузного силоса в среднем составило $16,49 \% \pm 0,69$. Также установлено, что между целлюлозой и лигнином, как комплекса, входящего в состав кислотно-детергентной клетчатки, корреляционная связь была высокой и отрицательной ($r = -0,71$). Это связано с тем, что в процессе развития клеточная стенка растений состоит из первичной стенки, в основном состоящей из целлюлозы.

Таким образом, исходя из полученных корреляционных связей, можно сделать вывод, что при увеличении концентрации лигнина с возрастом растения происходит количественное уменьшение содержания целлюлозы в клеточной стенке растений.

Литература

1. Wilson, J. R. Influence of plant anatomy on digestion and fiber breakdown / J. R. Wilson // *Microbial and Plant Opportunities to Improve the Utilization of Lignocellulose by Ruminants* / D. E. Akin [et al.]. - New York, 1990. – P. 99–117.
2. Wilson, J. R. Plant structures: Their digestive and physical breakdown / J. R. Wilson // *Recent Advances on the Nutrition of Herbivores* / Y. W. Ho [et al.]. – Kuala Lumpur, Malaysia, 1991. – P. 207–216.
3. Wilson, J. R. Organization of forage plant tissues / J. R. Wilson // *Forage Cell Wall Structure and Digestibility* / H. G. Jung [et al.]. – Madison, 1993. – P. 1–32.
4. Wilson, J. R. Cell-wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage / J. R. Wilson, D. R. Mertens // *Crop Sci.* – 1995. – Vol. 35. – P. 251–259.
5. Jung, H. G. Forage Digestibility: The Intersection of Cell Wall Lignification and Plant Tissue Anatomy / H. G. Jung. URL: <http://dairy.ifas.ufl.edu/ms/2012/12jungms2012.pdf> (accessed on 18 April 2015).
6. Jung, H. G. Alfalfa stem tissues: Rate and extent of cell-wall thinning during ruminal degradation / H. G. Jung, F. M. Engels // *Neth. J. Agric. Sci.* – 2001. – Vol. 49. – P. 3–13.
7. Engels, F. M. Alfalfa stem tissues: Impact of lignification and cell length on ruminal degradation of large particles / F. M. Engels, H. J. G. Jung // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 2005. – Vol. 120. – P. 309–321.
8. Wilson, J. R. Plant and animal constraints to voluntary feed intake as-associated with fibre characteristics and particle breakdown and passage in ruminants / J. R. Wilson, P. M. Kennedy // *Aust. J. Agric. Res.* – 1996. – Vol. 47. – P. 199–225.
9. Engels, F. M. Some properties of cell wall layers determining ruminant digestion / F. M. Engels // *Physio-Chemical Characterization of Plant Residues for Industrial and Feed Use.* – London, 1989. – P. 80–87.

10. Chesson, A. Lignin polysaccharide complexes of the plant-cell wall and their effect on microbial-degradation in the rumen / A. Chesson // Anim. Feed Sci. Technol. – 1988. – Vol. 21. – P. 219–228.
11. Сизова, Ю. В. Функционально-метаболическое значение углеводов в кормлении коров / Ю. В. Сизова // Вестник НГИЭИ. – 2013. - № 4 (23). – С. 115-121.
12. Casler, M. D. Selection and evaluation of smooth bromegrass clones with divergent lignin or etherified ferulic acid concentration / M. D. Casler, H. J. G. Jung // Crop Sci. – 1999. – Vol. 39. – P. 1866–1873.
13. Grabber, J. H. How do lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability. A review of cell wall model studies / J. H. Grabber // Crop Sci. – 2005. – Vol. 45. – P. 820–831.
14. Jung, H. G. Forage lignin's and their effects on fiber digestibility / H. G. Jung // Agron. J. – 1989. – Vol. 81. – P. 33–38.
15. Изучение пищеварения у жвачных: методические указания / Н. В. Курилов [и др.] ; Всерос. науч.-исслед. ин-т физиологии и биохимии питания с.-х. животных. – Боровск, 1987. – 96 с.
16. Van Soest, P. J. 4 Determination of plant cell-wall constituents / P. J. Van Soest, R. H. Wine // J. Assoc. Anal. Chem. - 1968. - Vol. 50. - P. 50-55.
17. Воробьёва, С. В. Влияние разного уровня НДК в рационах на потребление сухого вещества и продуктивность лактирующих коров / С. В. Воробьёва // Проблемы кормления с.-х. животных в современных условиях развития животноводства : материалы науч. конф. – Дубровицы, 2003. – С. 38–40.
18. Weimer, P. J. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? / P. J. Weimer // J. Dairy Sci. – 1996. – Vol. 79. – P. 1496–1502.
19. Comprehensive model of the lignified plant cell wall / N. Terashima [et al.] // Forage Cell Wall Structure and Digestibility / H. G. Jung [et al.]. – Madison, 1993. – P. 247–270.

Поступила 6.05.2024 г.

УДК 636.934.57:636.087.24:661.155.2

И.В. ПАРКАЛОВ, Ю.И. ГЕРМАН

ВЛИЯНИЕ БЕЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТА ЯЧМЕННОГО СОЛОДА НА ПЕРЕВАРИМОСТЬ КОРМА ДЛЯ САМОК НОРОК

Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь

Современный уровень развития отрасли звероводства требует принципиально нового подхода к вопросу кормления пушных зверей. В настоящее время учёными-звероводами ведётся активный поиск новых источников кормового протеина. В связи с этим изучаются возможности применения различных продуктов пищевой, пивоваренной, кожевенной и других производств. Целью исследований, представленных в статье, было установить влияние белкового концентрата ячменного солода (БКЯС) на переваримость питательных веществ