

УДК 636.085

DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2025-1-25-32

РАЗРАБОТКА ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ САХАРОВ В ЗЕЛЕННОЙ МАССЕ ЛЮЦЕРНЫ

Г.В. Степанова, кандидат сельскохозяйственных наук

В.П. Клименко, доктор сельскохозяйственных наук

А.С. Шабля, научный сотрудник

ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»

141055, Россия, Московская область, г. Лобня, ул. Научный городок, корп. 1

g.stepanova@vniikormov.ru

DEVELOPMENT OF AN EXPRESS METHOD FOR DETERMINING SUGARS IN ALFALFA GREEN MASS

G.V. Stepanova, Candidate of Agricultural Sciences

V.P. Klimenko, Doctor of Agricultural Sciences

A.S. Shablya, Junior Researcher

Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology

141055, Russia, Moscow region, Lobnya, Nauchnyi gorodok str., k. 1

g.stepanova@vniikormov.ru

В ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» в лаборатории селекции люцерны совместно с лабораторией консервирования и хранения кормов проводятся исследования по разработке экспресс-метода определения сахаров в зеленой массе люцерны с целью создания перспективных сортов и гибридов с повышенным содержанием водорастворимых углеводов и низкой буферной емкостью для повышения силосуемости этой ценной белковой культуры. Исследования проводились на сортах люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.) селекции ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»: Вега 87, Пастбищная 88, Селена, Соната, Таисия, а также на 10 гибридах, созданных различными способами селекции. Дана оценка по урожайности и химическому составу, сахаро-буферному отношению и способности к силосованию, включая и определение сахаров в соке. В результате проведенных исследований оптимизирован способ определения количества растворимых сахаров в соке люцерны с использованием рефрактометра, а наличие статистически значимой корреляционной зависимости ($r = 0,60-0,89$) между содержанием сахаров, определенном методом Бертрана, и в соке, определенном с использованием рефрактометра, позволяет сделать вывод о возможности использования этого метода для ускоренного скрининга значительного количества исходного материала люцерны на содержание водорастворимых углеводов.

Ключевые слова: кормопроизводство, люцерна, рефрактометр, растворимые сахара, буферная емкость.

The alfalfa breeding laboratory, together with the laboratory of conservation and storage of feed, is conducting research on the development of an express method for the determination of sugars in the green mass of alfalfa. The aim of the study is to create promising alfalfa varieties and hybrids with a high content of water-soluble carbohydrates and a low buffer capacity to increase the silage capacity of this valuable pro-

tein crop. The research was carried out on varieties of alfalfa (*Medicago varia* Mart.) selected by the V.R. Williams Federal Research Center: Vega 87, Pastbishchnaya 88, Selena, Sonata, Taisiya, as well as 10 hybrids created by various breeding methods. An assessment is given on yield and chemical composition, sugar-buffer ratio and silage capacity, including the determination of sugars in juice. As a result of the research, a method for determining the amount of soluble sugars in alfalfa juice using a refractometer has been optimized. The presence of a statistically significant correlation ($r = 0.60-0.89$) between the sugar content determined by the Bertrand method and in the juice determined using a refractometer allows us to conclude that this method can be used for accelerated screening of a significant amount of alfalfa feedstock for the content of water-soluble carbohydrates.

Keywords: feed production, alfalfa, refractometer, soluble sugars, buffer capacity.

Введение. Люцерна (*Medicago sativa*) является важнейшей кормовой и самой распространенной культурой в мире. В России площадь посевов люцерны достигает 2,3–2,5 млн га. Она широко выращивается на территории Центрального и Приволжского экономических районов. Люцерна превосходит многие бобовые и злаковые культуры по содержанию питательных веществ и занимает одно из главных мест в кормопроизводстве Российской Федерации [1].

Люцерна используется в кормопроизводстве для заготовки объемистых кормов — сена, сенажа, травяной резки и муки. Современные сорта люцерны обладают пластичностью и устойчивостью к болезням и вредителям, переносят заморозки и засухи, накапливают азот в почве, многоукосные и долголетние, охотно поедаются и хорошо перевариваются животными [2]. Люцерна заметно выделяется среди других кормовых культур по содержанию и переваримости питательных веществ. В фазе бутонизации в растениях различных сортов (Вега 87, Соната, Селена, Пастбищная 88, Таисия) содержание сырого протеина в сухом веществе достигает 22,1–26,9%, сырой клетчатки — 16,5–25,6, сырого жира — 3,0–4,1% [3].

Проведена оценка протеиновой питательности люцерны сортов Вега 87,

Селена, Луговая 67 и Пастбищная 88 в процессе вегетации. Установлено, что в фазу стеблевания содержание сырого протеина в среднем по всем сортам составляло $24,21 \pm 0,37\%$, в начале бутонизации — $19,95 \pm 0,59$, в фазу бутонизации — $17,23 \pm 0,62$, в фазу цветения — $15,07 \pm 0,60\%$. Сумма всех аминокислот в среднем по всем сортам в фазу стеблевания составляла 203,2 г, в фазу начала бутонизации — 167,7 г, бутонизации — 144,5 г, цветения — 117,1 г/кг сухого вещества. Аминокислотный индекс люцерны всех сортов находился в пределах 0,84–0,90, что указывает на высокое содержание незаменимых аминокислот в зеленой массе. Содержание лизина и метионина во всех сортах люцерны было высоким и составляло: лизина — 6,8–14,1 г, метионина — 2,0–4,0 г/кг сухого вещества. Установлено, что люцерна сорта Луговая 67 на протяжении всей вегетации отличалась более высоким содержанием аминокислот, в том числе незаменимых [4].

Люцерна важна для животных из-за высокого содержания белка и аминокислот, но она нуждается в эффективных методах консервирования с тем, чтобы использоваться крупным рогатым скотом в течение всего года [5].

Во многих передовых хозяйствах ферментируемые корма из люцерны —

один из основных источников полноценного белка в рационах высокопродуктивного молочного скота. В.Г. Косолапова с соавторами указывает, что использование люцерны в качестве единственного корма увеличивает потребление сухого вещества, переваримость питательных веществ, прирост живой массы, утилизацию азота, удой молока, а также значительно снижает выбросы CH_4 и риск развития руминального ацидоза [5].

Однако высокая питательная ценность в сочетании с высокой обеспеченностью минеральными веществами и повышенное содержание белка являются одной из причин плохой силосуемости люцерны. Ф. Вайсбах пишет: «Сопоставляя буферность различных видов растений с содержанием в них сырого протеина, кальция и магния, исследователи установили, что чем богаче растения указанными соединениями, тем выше их буферная емкость» [6].

Ю.А. Победнов и В.М. Косолапов также считают, что основную роль в увеличении буферной емкости играют не азотистые вещества, а минеральные соединения. Они пишут: «Люцерна богата минеральными веществами с выраженными основными свойствами. Высокая буферность люцерны обуславливает необходимость накопления значительно большего количества молочной кислоты, чем требуется для подкисления злаковых трав и клевера лугового, что в условиях дефицита сахара очень трудно обеспечить при обычном силосовании даже в провяленном виде» [7].

Исследованиями лаборатории селекции люцерны ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» показано, что увеличение содер-

жания сырого протеина, сырой золы и сырого жира на 1% ведет к повышению буферной емкости сухого вещества соответственно на 0,07–0,40, 0,19–0,86 и 0,33–1,11 [8].

Другим технологическим недостатком люцерны является пониженное содержание растворимых углеводов, что делает крайне низким сахаро-буферное отношение — менее 1,1, из-за чего люцерна плохо силосуется [7; 9]. Острый дефицит сахара и высокая буферная емкость зеленой массы люцерны служат причиной получения корма, нестабильного при хранении [10]. Исследования, проведенные в Оренбургском ВНИИ мясного скотоводства, показали, что содержание сахаров в люцерне зависит от фазы развития люцерны и погодных условий. От фазы бутонизации к фазе цветения уровень водорастворимых углеводов возрастает в среднем на 20,5%. В фазу бутонизации люцерны среднее содержание растворимых сахаров составляло 13,5 г на кг сухого вещества, в том числе 8,5 г моносахаров, 5,0 г дисахаров и 4,5 г крахмала. В фазу цветения эти показатели возросли до 17,7 г, в том числе 12,0 г моносахаров, 5,7 г дисахаров и 4,8 г крахмала. Меньшее содержание сахаров в вегетативной массе в фазе бутонизации, особенно в начале, объясняется тем, что в этот период происходит более интенсивно рост растений и расход углеводов, в том числе крахмала [11].

Повысить силосуемость люцерны можно путем целенаправленной селекции на повышение содержания сахаров в растениях, что повысит также ее устойчивость к эдафическим стрессорам (повышенная почвенная кислотность, избыточное увлажнение, выпревание в пе-

риод зимовки) и улучшить поедаемость животными. Для этого предлагается разработать экспресс-метод определения растворимых сахаров в соке люцерны с использованием рефрактометра. Это позволит сравнительно быстро исследовать значительное количество исходных образцов и вновь созданных гибридов, что ускорит ведение селекционной работы по созданию сортов люцерны с заданными признаками.

В связи с этим *целью настоящих исследований* была разработка экспресс-метода определения количества растворимых сахаров в соке люцерны и оценка с помощью нового метода сортов люцерны и другого селекционного материала, созданного в ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса».

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены в лаборатории селекции люцерны и лаборатории консервирования и хранения кормов. Изучали химический состав сухого вещества сортов люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.) селекции ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»: Вега 87, Пастбищная 88, Селена, Соната, Таисия, а также 10 гибридов, созданных различными способами селекции.

Общий химический анализ проводили по общепринятым методикам [12; 13]. Определение содержания растворимых углеводов — по методу Бертрана [13]. Корреляционно-регрессионный анализ — по Б.А. Доспехову [14]. Содержание сахаров в соке люцерны определяли с использованием ручного рефрактометра РНВ-10 АТС.

Результаты исследований. Классическое определение сахаров по методу Бертрана занимает много времени и

очень трудоемко. Поэтому так важен ускоренный метод определения сахаров в люцерне и других силосуемых растениях. Для проведения измерения водорастворимых углеводов (сахаров) с помощью рефрактометра были оптимизированы ранее разработанные способы подготовки сока, выделенного из растений люцерны, включая степень разведения сока, температуру воды, вливаемой в сок, перемешивание, температуру рабочего раствора и продолжительность экспозиции осветления рабочего раствора.

Изучение химического состава люцерны изменчивой (*Medicago varia* Mart.) селекции ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса» провели на сортах Вега 87, Пастбищная 88, Селена, Соната и Таисия, а также на 10 гибридах в серии опытов 2020 и 2021 гг. Определяли водорастворимые сахара в целом растении люцерны по методу Бертрана и в соке с помощью рефрактометра. По окончании опыта рассчитали корреляционную зависимость для 65 образцов (табл. 1).

Сравнение содержания сахаров, определенного по методу Бертрана, с содержанием сахаров в соке люцерны пяти сортов выявило высоко существенную корреляционную связь между этими показателями. Коэффициенты корреляции в 2020 и 2021 гг. составили 0,87 и 0,89 при фактическом уровне значимости (t_r), равном 3,05 и 3,38, что выше теоретического уровня значимости ($t_{05} = 2,78$). Коэффициенты регрессии (b_y) составили 1,3 и 2,1, следовательно, при увеличении содержания растворимых сахаров в зеленой массе на 1%, определенного по методу Бертрана, содержание сахаров в соке возрастает в среднем на 1,3 и 2,1%. Данные зависимости описываются уравне-

ниями регрессии: $Y_1 = 1,3X_1 + 6,1$ и $Y_2 = 2,1X_2 + 5,7$, близкими к линейной регрессии, где X_1 и X_2 — среднее содержание растворимых сахаров в зеленой массе люцерны в 2020 и 2021 гг., Y_1 и Y_2 — расчетное содержание сахаров в соке.

1. Сравнение содержания сахаров в зеленой массе и соке люцерны

Сорт	2020 г.		2021 г.	
	Сахар в зеленой массе, %	Сахар в соке, %	Сахар в зеленой массе, %	Сахар в соке, %
Вега 87	2,36	9,3	2,62	10,9
Соната	2,02	8,5	2,89	11,0
Пастбищная 88	2,47	9,4	3,81	13,9
Селена	2,56	9,6	2,56	10,8
Таисия	2,84	9,5	2,43	11,6
Среднее	2,45	9,26	2,86	11,64
Коэффициент корреляции (r)	0,87		0,89	
Коэффициент регрессии (b_y)	1,30		2,1	
t_r	3,05		3,38	
t_{05}	2,78			

Проанализировали также сравнительные показатели содержания растворимых сахаров в зеленой массе 10 гибридов люцерны, определенные по методу Бертрана, и в соке, определенные с использованием рефрактометра (табл. 2).

2. Содержание сахаров в зеленой массе и соке люцерны. Данные 2021 г.

Селекционный номер	Содержание сахаров, %			
	1-й укос		2-й укос	
	зеленая масса	сок	зеленая масса	сок
№ 1	3,37	16,4	3,40	17,2
№ 2	3,29	16,0	2,75	12,0
№ 3	2,94	14,4	2,47	13,2
№ 5	2,84	13,6	2,28	14,4
№ 7	3,19	17,6	1,46	10,0
№ 8	3,05	14,4	1,68	10,0
№ 9	2,85	8,4	1,84	9,2
№ 10	2,70	12,8	1,62	9,0
Таисия	3,51	14,4	1,68	10,8
Среднее	3,08	14,22	2,13	11,76
Коэффициент корреляции (r)	0,60		0,88	
t_r	2,00		4,99	
t_{05}	2,26			
t_{01}	3,25			

В первом укосе содержание сахаров в зеленой массе колебалось в пределах 2,70–3,51%, в соке — от 8,4 до 17,6%. Лучшие результаты показали № 7, № 2 и № 1: содержание сахара в зеленой массе было 3,19–3,37%, в соке — 16,0–17,6% при среднем значении по всем номерам соответственно 3,08 и 14,22%. Корреляционная зависимость между содержанием сахаров, определенном методом Бертрана, и в соке с использованием рефрактометра была близкой к статистически значимой. Коэффициент корреляции составил 0,60, фактический критерий значимости $t_r = 2,0$ был близок к теоретическому $t_{05} = 2,26$ (табл. 2).

Во втором укосе содержание сахаров в зеленой массе колебалось от 1,46 до 3,40% при среднем значении 2,13%, а в соке — от 9,0 до 17,2% при среднем значении 11,76%. В этом укосе выявлена высоко существенная корреляционная зависимость между содержанием сахаров, определенном по методу Бертрана, и в соке, определенном с использованием рефрактометра. Коэффициент корреляции равен 0,88, фактический критерий значимости $t_r = 4,99$ больше теоретического $t_{01} = 3,25$. Среди испытанных номеров стабильно высоким содержанием сахаров в сухом веществе

(3,37 и 3,40%) и соке (16,4 и 17,2%) выделялся образец № 1 (*M. borealis* из Эстонии) (табл. 2).

Наличие статистически значимой корреляционной зависимости ($r = 0,60–0,89$) между содержанием сахаров, определенном методом Бертрана, и в соке, определенном с использованием рефрактометра, позволяет сделать вывод о возможности использования этого метода для ускоренного скрининга значительного количества исходного материала люцерны на содержание водорастворимых углеводов.

Заключение. В результате проведенных исследований оптимизирован способ определения количества растворимых сахаров в соке люцерны с использованием рефрактометра. Выделены в качестве генетических источников повышенного содержания сахаров и пониженной буферной емкости перспективные образцы: сорт Карлу (*M. borealis* из Эстонии), сорта Луговая 67 и Пастбищная 88. Выявлена статистически значимая корреляционная зависимость ($r = 0,60–0,89$) между содержанием растворимых сахаров в зеленой массе люцерны, определенном методом Бертрана, и в соке, определенном с использованием рефрактометра.

Литература

1. Косолапова В.Г., Муссие С.А. Питательная ценность люцерны различных сортов в процессе роста и развития // Кормопроизводство. – 2020. – № 10. – С. 17–24. – EDN: RICQXS. DOI: 10.25685/krm.2020.49.33.001.
2. Сорта люцерны для северных регионов возделывания / Г.В. Степанова, А.А. Ионов, Н.М. Барсуков, А.В. Пьянков // Кормопроизводство. – 2023. – № S11. – С. 32–36.
3. Косолапова В., Степанова Г., Муссие С. Корма из люцерны для дойных коров // Животноводство России. – 2022. – № 9. – С. 45–48. – DOI: 10.25701/ZZR.2022.09.09.001.
4. Косолапова В.Г., Косолапов В.М., Степанова Г.В. Аминокислотный состав люцерны разных сортов // Кормопроизводство. – 2023. – № 8. – С. 18–21.
5. Косолапова В.Г., Степанова Г.В., Муссие С.А. Способы консервирования люцерны и исполь-

- зование кормов жвачными животными // Кормопроизводство. – 2021. – № 6. – С. 27–36.
6. Вайсбах Ф. Будущее консервирования кормов // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2012. – № 2. – С. 49–70.
 7. Победнов Ю.А., Косолапов В.М. Биологические основы силосования люцерны с препаратами молочнокислых бактерий (обзор) // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, № 2. – С. 258–269. – DOI: 10.15389/agrobiology.2018.2.258rus.
 8. Степанова Г.В. Буферная емкость сухого вещества люцерны // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство : сб. науч. тр., выпуск 25 (73). – Лобня, 2021. – С. 21–30. – DOI: 10.33814/МАК-2021-25-73-21-30.
 9. Биологические особенности и принципы консервирования люцерны / Ю.А. Победнов, В.П. Клименко, А.А. Мамаев, К.Е. Юртаева, М.С. Иванова // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 2. – С. 44–47. – DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10211.
 10. Силосование люцерны с препаратами молочнокислых бактерий / Ю.А. Победнов, А.А. Мамаев, М.С. Иванова, К.Е. Юртаева // Животноводство и кормопроизводство. – 2018. – Т. 101, № 1. – С. 213–220.
 11. Углеводный состав бобовых культур / А.В. Кудашева, Г.И. Левахин, Н.М. Ширнина [и др.] // Вестник мясного скотоводства. – 2009. – Т. 1, № 62. – С. 170–174.
 12. Физико-химические методы анализа кормов / В.М. Косолапов, В.А. Чуйков, Х.К. Худякова, В.Г. Косолапова. – М. : Типография Россельхозакадемии, 2014. – 344 с.
 13. Проведение опытов по консервированию и хранению объемистых кормов (методические рекомендации) / В.А. Бондарев, В.М. Косолапов, Ю.А. Победнов [и др.]. – М. : ФГУ РЦСК, 2008. – 67 с.
 14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Колос, 1974. – 416 с. [С. 317–337].

References

1. Kosolapova V.G., Mussie S.A. Pitatel'naya tsennost' lyutserny razlichnykh sortov v protsesse rosta i razvitiya [Nutritional value of different varieties of alfalfa during growth and development]. *Kormoproizvodstvo [Forage production]*, 2020, no. 10, pp. 17–24. EDN: RICQXS. DOI: 10.25685/krm.2020.49.33.001.
2. Stepanova G.V., Ionov A.A., Barsukov N.M., Pyankov A.V. Sorta lyutserny dlya severnykh regionov vozdeleyvaniya [Alfalfa varieties for northern cultivation regions]. *Kormoproizvodstvo [Forage production]*, 2023, no. S11, pp. 32–36.
3. Kosolapova V., Stepanova G., Mussie S. Korma iz lyutserny dlya doynnykh korov [Alfalfa feed for dairy cows]. *Zhivotnovodstvo Rossii [Animal Husbandry of Russia]*, 2022, no. 9, pp. 45–48. DOI: 10.25701/ZZR.2022.09.09.001.
4. Kosolapova V.G., Kosolapov V.M., Stepanova G.V. Aminokislotnyy sostav lyutserny raznykh sortov [Amino acid composition of different varieties of alfalfa]. *Kormoproizvodstvo [Forage production]*, 2023, no. 8, pp. 18–21.
5. Kosolapova V.G., Stepanova G.V., Mussie S.A. Sposoby konservirovaniya lyutserny i ispol'zovaniye kormov zhvachnymi zhyvotnymi [Methods of preserving alfalfa and the use of feed by ruminants]. *Kormoproizvodstvo [Forage production]*, 2021, no. 6, pp. 27–36.
6. Weissbach F. Budushcheye konservirovaniya kormov [The future of feed preservation]. *Problemy biologii produktivnykh zhyvotnykh [Problems of biology of productive animals]*, 2012, no. 2, pp. 49–70.
7. Pobednov Yu.A., Kosolapov V.M. Biologicheskiye osnovy silosovaniya lyutserny s preparatami molochnokislykh bakteriy (obzor) [Biological bases of alfalfa silage with lactic acid bacteria preparations (review)]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural biology]*, 2018, vol. 53, no. 2, pp. 258–269. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.2.258rus.
8. Stepanova G.V. Bufernaya yemkost' sukhogo veshchestva lyutserny [Buffer capacity of dry matter of

- alfalfa]. *Mnogofunktsional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo [Multifunctional adaptive forage production: collection of scientific papers, issue 25 (73)]*. Lobnya, 2021, pp. 21–30. DOI: 10.33814/MAK-2021-25-73-21-30.
9. Pobednov Yu.A., Klimenko V.P., Mamaev A.A., Yurtaeva K.E., Ivanova M.S. Biologicheskiye osobennosti i printsipy konservirovaniya lyutserny [Biological features and principles of canning alfalfa]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex]*, 2018, vol. 32, no. 2, pp. 44–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10211.
 10. Pobednov Yu.A., Mamaev A.A., Ivanova M.S., Yurtaeva K.E. Silosovaniye lyutserny s preparatami molochnokislykh bakteriy [Ensiling alfalfa with lactic acid bacteria preparations]. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo [Animal husbandry and forage production]*, 2018, vol. 101, no. 1, pp. 213–220.
 11. Kudasheva A.V., Levakhin G.I., Shirnina N.M. [et al.] Uglevodnyy sostav bobovykh kul'tur [Carbohydrate composition of legumes]. *Vestnik myasnogo skotovodstva [Bulletin of beef cattle breeding]*, 2009, vol. 1, no. 62, pp. 170–174.
 12. Kosolapov V.M., Chuikov V.A., Khudyakova Kh.K., Kosolapova V.G. Fiziko-khimicheskiye metody analiza kormov [Physico-chemical methods of feed analysis]. Moscow, Tipografiya Rossel'khozakademii Publ., 2014, 344 p.
 13. Bondarev V.A., Kosolapov V.M., Pobednov Yu.A. [et al.] Provedeniye opytov po konservirovaniyu i khraneniyu ob'yemistykh kormov (metodicheskiye rekomendatsii) [Conducting experiments on preserving and storing bulky feeds (methodological recommendations)]. Moscow, 2008, 67 p.
 14. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experiment]. Moscow, Kolos Publ., 1974, 416 p. [pp. 317–337].