



Научная статья

УДК 633.262/31:631.584.5:631.559

doi: 10.55186/25876740_2023_66_1_80

КОНКУРЕНТНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛЮЦЕРНЫ И КОСТРЕЦА В СМЕШАННЫХ ПОСЕВАХ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕВОЛЖЬЯ

О.А. Тимошкин

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

Аннотация. Проблема формирования высокопродуктивных агрофитоценозов на основе адаптированных к условиям лесостепи многолетних трав — люцерны и костреца с целью обеспечения отрасли животноводства качественными кормами, является актуальной задачей. В связи с этим на опытном поле ФГБНУ ФНЦ ЛК — ОП «Пензенский НИИСХ» в 2017-2022 гг. проводили исследования, целью которых было изучение влияния норм высева, уровня применения минеральных удобрений и сроков уборки люцерны и костреца в смешанных посевах на сбор сухого вещества и конкурентную способность компонентов. В качестве объектов исследований использовали новые сорта люцерны изменчивой — сорт Дарья (внесен в Госреестр по 4, 5, 7 регионам РФ) и костреца безостого — сорт Удалец (внесен в Госреестр по 5, 7 регионам РФ). Норма высева культур в чистом виде — 6 млн всхожих семян/га, в смешанных посевах — согласно схеме опыта. Способ посева — рядовой (черезрядный). Посев проводили летом (в июне), беспокровно. Закладку полевых опытов, учеты и анализы проводили в соответствии с общепринятыми методическими указаниями. В результате исследований установлены существенные различия в сборе сухого вещества между вариантами по годам пользования по нормам высева, уровням применения удобрений и срокам скашивания. Люцерна при норме высева 70% (от полной) отличалась высокой конкурентоспособностью в смесях с кострцом. Снижение нормы высева люцерны с 70 до 40% снижает ее конкурентоспособность при одновременном увеличении конкурентоспособности костреца. Конкурентоспособность костреца по годам пользования снижается с 0,3-6,3 в 1-й год пользования до 0,2-2,2 в 3-й год пользования. Внесение удобрений способствовало росту конкурентоспособности костреца при ее снижении у люцерны.

Ключевые слова: люцерна изменчивая (*Medicago varia*), кострец безостый (*Bromus inermis* L.), смешанные посева, норма высева, срок уборки, минеральные удобрения, конкурентная способность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ FGSS-2022-0008). Авторы благодарят рецензентов за экспертную оценку статьи.

Original article

COMPETITIVE ABILITY OF ALFALFA AND BROME IN MIXED CROPS WHEN CULTIVATED IN THE FOREST-STEPPE OF THE MIDDLE VOLGA

О.А. Timoshkin

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

Abstract. The problem of the formation of highly productive agrophytocoenoses based on perennial grasses adapted to the conditions of the forest-steppe — alfalfa and brome in order to provide the livestock industry with high-quality feed is an urgent task. In this regard, in the experimental field of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops — Separate division “Penza Research Institute of Agriculture” in 2017-2022 carried out studies aimed at studying the effect of seeding rates, the level of application of mineral fertilizers and the timing of harvesting variable alfalfa and awnless brome in mixed crops on the collection of dry matter and the competitiveness of the components. As objects of research, new varieties of alfalfa of the variable Darya variety (included in the State Register for 4, 5, 7 regions of the Russian Federation), awnless brome variety Udalets (included in the State Register for 5, 7 regions of the Russian Federation) were used. The seeding rate of crops in pure form is 6 million germinating seeds per 1 ha, in mixed crops — according to the experimental scheme. Sowing method — ordinary (interrow). Sowing was carried out in the summer (in June), uncovered. Bookmark field experiments, records and analyzes were carried out in accordance with generally accepted guidelines. As a result of the research, significant differences in the collection of dry matter between the studied seeding rates, the level of fertilizer use and the timing of mowing by years of use have been established. Alfalfa at a seeding rate of 70% (of the total) was highly competitive in mixtures with brome. Reducing the seeding rate of alfalfa from 70 to 40% reduces its competitiveness while increasing the competitiveness of rump. Rump competitiveness by years of use decreases from 0.3-6.3 in the 1st year of use to 0.2-2.2 in the 3rd year of use. The application of fertilizers contributed to the growth of the competitiveness of the rump, while it decreased in alfalfa.

Keywords: variable alfalfa (*Medicago varia*), awnless brome (*Bromus inermis* L.), mixed crops, seeding rate, harvesting period, mineral fertilizers, competitiveness

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the State Assignment of Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2022-0008). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Введение. В последние десятилетия активно обсуждается вопрос о необходимости использования биологических особенностей культур и травосмесей в системе земледелия для сохранения плодородия почвы, контроля распространения сорной растительности в посевах культур, стабилизации продуктивности пашни [1, 2, 3]. В этой связи особое внимание уделяется многолетним травам, которые оказывают интенсивное влияние на свойства почвы, обладают высокой конкурентной способностью по отношению к сорнякам, оставляют большое количество в почве энергетического материала в виде пожнивно-корневых остатков, усиливают микробиологическую активность почв [4, 5, 6].

Их активная роль в биологическом круговороте веществ и энергии в агрофитоценозах выделяет эти культуры в группу отличных предшественников [7, 8].

Все большее внимание исследователей привлекает возможность использования смешанных агрофитоценозов, в основу конструирования которых положен принцип комплементарности, то есть способности разных видов избегать агрессивной конкуренции и дополнять друг друга. Одними из самых ярких примеров таких агрофитоценозов являются многолетние бобово-злаковые смеси [9, 10]. В лесостепи Средневожья к таким культурам относятся кострец безостый и люцерна изменчивая, которые

широко используются как в севооборотах, так и в выводящих полях [11].

При конструировании многолетних агрофитоценозов необходимо знать экологию растений, чтобы умело возделывать их в различных агроэкологических зонах, типах почв, условиях увлажнения для получения максимального количества высококачественной продукции с единицы площади. Для этого важно выявить и определить характер отношений, которые имеют место между слагающими фитоценоз растениями одного и того же и разных видов [12, 13]. Компоненты агрофитоценоза имеют, с одной стороны, характер взаимного благоприятствования, чем и обоснована необходимость возделывания



бобовых и злаковых трав в смеси, с другой стороны — характер конкуренции. Из элементов технологии, оказывающих существенное влияние на структуру агрофитоценоза, уровень продуктивного долголетия, следует назвать соотношение компонентов травосмеси (норма высева), применение минеральных удобрений и сроки скашивания травостоя. Нормы высева компонентов агроценоза оказывают влияние на его состав лишь первые 2-3 года пользования [14, 15].

W. Willey, M. Rao [16] при изучении конкурентных взаимоотношений предложили для оценки критерия конкурентной способности компонентов использовать коэффициент конкурентоспособности (Competitive ratio, CR). По их мнению, коэффициент конкурентоспособности компонентов смесей зависит, прежде всего, от биологических особенностей видов бобовых и злаковых растений, норм высева трав, напряженности травосмеси, а также возраста травостоя.

В связи с этим целью проведенных исследований было обоснование технологических приемов возделывания люцерны изменчивой и костреца безостого в смешанных посевах, базирующихся на подборе норм высева, уровня применения минеральных удобрений и сроков уборки, на сбор сухого вещества и конкурентную способность компонентов смесей в условиях лесостепи Средневолжья.

Методика исследований. Экспериментальная работа по изучению влияния норм высева, уровня применения удобрений и сроков уборки в технологии возделывания люцерны и костреца в смешанных посевах на кормовые цели проводилась на опытном поле лаборатории агротехнологий ФГБНУ ФНЦ ЛК — ОП «Пензенский НИИСХ». Научные исследования выполнялись в трехфакторном полевом опыте:

Фактор А — Норма высева люцерны и костреца в смесях (% от нормы высева в чистом виде):

1. 70+40%; 2. 55+55%; 3. 40+70% (люцерна + костреца).

Фактор В — Уровень применения удобрений:

1. Контроль; 2. $P_{60}K_{90}$; 3. $N_{45}P_{60}K_{90}$.

Фактор С — Срок уборки травосмесей (фаза развития люцерны):

1. Бутонизация; 2. Переменный (1-й г.п. — цветение, 2-й г.п. — бутонизация, 3-й г.п. — цветение); 2. Цветение.

Площадь учетной делянки 1-го порядка 45 м², 2-го порядка — 15 м², 3-го порядка — 5 м², повторность 3-кратная.

Норма высева в чистом виде: люцерны — 6 млн всхожих семян/га, костреца — 6 млн всхожих семян/га, способ посева — рядовой (размещение культур — черезрядное). Удобрения вносили перед посевом и при весеннем отрастании культур в годы пользования.

В исследованиях использовали люцерну изменчивую (*Medicago varia*) сорта Дарья, костреца безостый (*Bromus inermis* L.) сорта Удалец селекции ФГБНУ ФНЦ ЛК — ОП «Пензенский НИИСХ».

Почва опытного участка — чернозем выщелоченный среднесуглинистый, среднесуглинистый. Содержание гумуса в пахотном слое 6,2-6,3% (по Тюрину в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26213-91), рН_{кон} — 5,4-5,5, высокое содержание легкогидролизуемого азота — 82-91 мг/кг (по Тюрину и Кононовой, ГОСТ 26951-86), повышенное содержание подвижного фосфора — 156-162 мг/кг почвы (по Чирикову, ГОСТ 26204-91), обменного калия — 132-138 мг/кг почвы (по Чирикову, ГОСТ 26204-91).

Закладку полевых опытов, сопутствующие наблюдения, учеты проводили в соответствии с Методикой проведения исследований с кормовыми культурами [17].

Результаты исследований. Погодные условия за период вегетации многолетних трав в годы проведения исследований (2017-2022 гг.) отличались неравномерным распределением осадков и температур (табл. 1). По условиям увлажнения они характеризовались как слабообеспеченные (ГТК₂₀₁₈ — 0,3), недостаточно обеспеченные (ГТК_{2017, 2019} — 0,7, ГТК_{2020, 2021} — 0,8), оптимальные (ГТК₂₀₂₂ — 1,0) при значительных различиях по месяцам и декадам. Количество осадков за период май-август в 2017 г. составило 153 мм, в 2018 г. — 70, в 2019 г. — 144, в 2020 г. — 198, в 2021 г. — 212, в 2022 г. — 195, при среднемноголетнем показателе — 209 мм.

Данные по сбору сухого вещества показывают, что в 1-й год пользования в сумме за два укоса сбор сухого вещества составил по вариантам 10,02-12,70 т/га при уборке в фазе бутонизации, 9,42-12,13 т/га при переменной уборке, 8,99-11,81 т/га при уборке в фазе цветения (табл. 2). В целом уборка зеленой массы в фазе бутонизации обеспечивает прибавку сбора сухого вещества 10,5% по сравнению с уборкой в фазе цветения.

Анализ сбора сухого вещества в зависимости от нормы высева компонентов (фактор А) показал, что максимальные показатели получили при высева 70% от нормы высева в чистом виде люцерны и 40% костреца — в сумме за 2 укоса 11,58 т/га, что на 7,7% выше, чем при норме высева 55+55% (10,75 т/га) и на 14,3% выше, чем при норме высева 40+70% (10,13 т/га). Различия по фактору А были достоверными (НСР₀₅ 0,48 т/га).

Различия по уровню применения удобрений (фактор В) также были существенны. Так, при внесении $P_{60}K_{90}$ сбор сухого вещества в сумме за два укоса при уборке в фазе бутонизации увеличился до 10,88 т/га или на 6,9% по сравнению с контролем (10,18 т/га), а при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ составил 11,39 т/га, что на 11,9% выше контроля (НСР₀₅ 0,48 т/га).

По сроку скашивания смесей (фактор С) преимущество было за ранним скашиванием (фаза бутонизации люцерны), при этом получили 11,46 т/га сухого вещества, что на 7,8% больше, чем при переменном скашивании и на 10,5% больше, чем при скашивании в фазе цветения. Стоит отметить, что различия между сроками уборки в фазе цветения и переменным сроком были недостоверны (НСР₀₅ 0,48 т/га).

Во второй год пользования сбор сухого вещества по вариантам составил в сумме за два укоса от 7,26 до 9,05 т/га при уборке в фазе бутонизации, от 7,25 до 9,07 т/га при переменном скашивании, от 7,33 до 9,24 т/га при уборке в фазе цветения.

Изменение норм высева компонентов с 70+40% до 40+70% приводило к снижению сбора сухого вещества смесей в сумме за два укоса с 7,89-9,05 до 7,26-8,49 т/га при уборке в фазе бутонизации, с 7,71-9,07 до 7,25-8,45 т/га при переменном скашивании, с 7,85-9,24 до 7,33-8,58 т/га при уборке в фазе цветения, соответственно.

Применение минеральных удобрений обеспечило получение более высокого сбора сухого вещества смесей. Так, сбор сухого вещества в контроле (без удобрений) составил 7,26-7,89 т/га при уборке в фазе бутонизации, 7,25-7,71 т/га при переменном скашивании, 7,33-7,85 т/га при уборке в фазе цветения. При

внесении $P_{60}K_{90}$ сбор сухого вещества составил по вариантам 7,92-8,48 т/га при уборке в фазе бутонизации, 7,99-8,44 т/га при переменном скашивании, 8,01-8,57 т/га при уборке в фазе цветения, а при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ — 8,49-9,05, 8,45-9,07 и 8,58-9,24 т/га, соответственно.

В среднем по норме высева компонентов (фактор А) различия в сборе сухого вещества были достоверными только между нормами высева 70+40% — 8,48 т/га и 40+70% — 7,92 т/га (НСР₀₅ 0,36 т/га). Различия по уровню применения удобрений (фактор В) были существенны как при внесении $P_{60}K_{90}$ — 8,22 т/га, так и при внесении $N_{45}P_{60}K_{90}$ — 8,80 т/га при сборе сухого вещества в контроле 7,56 т/га (НСР₀₅ 0,36 т/га). Различий между вариантами по срокам уборки (фактор С) в среднем за 2019-2021 гг. не выявлено, что объясняется эффектом нивелирования преимущества срока уборки в фазе бутонизации в 2019 и 2021 гг. и срока уборки в фазе цветения в 2020 г.

На третий год пользования (в среднем за 2020-2022 гг.) сбор сухого вещества остался на уровне второго года пользования. В среднем по норме высева компонентов (фактор А) преимущество имела норма высева 70+40% — получили 8,46 т/га сухого вещества, что выше, чем при норме высева 55+55% на 3,7% (различия достоверны при НСР₀₅ 0,34 т/га) и выше, чем при норме высева 40+70% на 7,1% (различия достоверны). По уровню применения удобрений (фактор В) различия между вариантами были достоверными (НСР₀₅ 0,34 т/га), прибавка от внесения $P_{60}K_{90}$ составила 9,3%, от внесения $N_{45}P_{60}K_{90}$ — 18,2%. По срокам уборки (фактор С) различий в сборе сухого вещества между уборкой в фазе бутонизации и переменной уборкой не наблюдалось — 7,78 и 7,80 т/га (НСР₀₅ 0,34 т/га). Достоверные различия выявлены между ранней (фаза бутонизации) — 7,78 т/га и поздней (фаза цветения) уборкой — 8,33 т/га (прибавка 7,1%).

Таблица 1. Гидротермический коэффициент (ГТК) и количество осадков в период вегетации люцерно-кострецовых смесей (2017-2022 гг.)
Table 1. Hydrothermal indicator (GTC) and the amount of precipitation during the growing season of alfalfa-brome mixtures (2017-2022)

Годы	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Май-август
	ГТК					
2017 г.	1,2	0,3	0,8	0,7	0,6	0,7
2018 г.	0,4	0,1	0,5	0,2	0,8	0,3
2019 г.	0,6	0,7	0,8	0,7	1,0	0,7
2020 г.	0,8	0,8	0,5	1,3	0,3	0,8
2021 г.	0,4	1,0	0,8	1,0	1,2	0,8
2022 г.	1,4	1,1	1,5	0	2,7	1,0
Средне-много-летнее	1,0	1,0	1,1	0,9	1,3	1,0
Количество осадков по декадам, мм						
2017 г.	72	16	59	6	42	153
2018 г.	19	7	33	11	36	70
2019 г.	28	41	42	33	44	144
2020 г.	49	47	33	69	11	198
2021 г.	19	72	54	67	42	212
2022 г.	46	56	93	0	97	195
Средне-много-летнее	44	53	63	49	46	209



Таблица 2. Сбор сухого вещества люцерно-кострецовых смесей при различных нормах высева, уровне применения удобрений и сроках скашивания в 1-3-й годы пользования (2018-2022 гг.)
Table 2. Collection of dry matter of alfalfa-rump mixtures at different seeding rates, level of fertilizer application and mowing terms in the 1st-3rd years of use (2018-2022)

Норма высева (от полной) — Фактор А	Уровень применения удобрений — Фактор В	Сбор сухого вещества, т/га			В среднем по факторам		
		срок скашивания — Фактор С			Фактор А	Фактор В	Фактор С
		бутонизация	переменный	цветение			
1-й год пользования (2018-2020 гг.)							
70+40%	контроль	11,48	10,71	10,52	11,58	10,18	11,46
	P ₆₀ K ₉₀	12,29	11,37	11,19	10,75	10,88	10,63
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	12,70	12,13	11,81	10,13	11,39	10,37
55+55%	контроль	10,86	10,04	9,56			
	P ₆₀ K ₉₀	11,51	10,66	10,24			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	12,01	11,01	10,86			
40+70%	контроль	10,02	9,42	8,99			
	P ₆₀ K ₉₀	10,92	9,99	9,82			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	11,32	10,35	10,34			
НСР ₀₅ вариантов		0,67			0,48	0,48	0,48
2-й год пользования (2019-2021 гг.)							
70+40%	контроль	7,89	7,71	7,85	8,48	7,56	8,20
	P ₆₀ K ₉₀	8,48	8,44	8,57	8,18	8,22	8,14
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	9,05	9,07	9,24	7,92	8,80	8,24
55+55%	контроль	7,66	7,55	7,57			
	P ₆₀ K ₉₀	8,25	8,12	8,18			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	8,83	8,69	8,78			
40+70%	контроль	7,26	7,25	7,33			
	P ₆₀ K ₉₀	7,92	7,99	8,01			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	8,49	8,45	8,58			
НСР ₀₅ вариантов		0,53			0,36	0,36	0,36
3-й год пользования (2020-2022 гг.)							
70+40%	контроль	7,56	7,66	8,30	8,46	7,30	7,78
	P ₆₀ K ₉₀	8,14	8,36	8,90	7,98	7,98	7,80
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	8,67	8,93	9,58	7,48	8,63	8,33
55+55%	контроль	7,17	7,16	7,65			
	P ₆₀ K ₉₀	7,81	7,86	8,32			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	8,28	8,50	9,05			
40+70%	контроль	6,74	6,48	7,01			
	P ₆₀ K ₉₀	7,44	7,29	7,66			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	8,17	7,99	8,52			
НСР ₀₅ вариантов		0,50			0,34	0,34	0,34
В среднем за годы пользования (2018-2022 гг.)							
70+40%	контроль	8,98	8,69	8,89	9,50	8,35	9,15
	P ₆₀ K ₉₀	9,64	9,39	9,55	8,97	9,03	8,86
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	10,14	10,04	10,21	8,51	9,61	8,98
55+55%	контроль	8,56	8,25	8,26			
	P ₆₀ K ₉₀	9,19	8,88	8,91			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	9,71	9,40	9,56			
40+70%	контроль	8,01	7,72	7,78			
	P ₆₀ K ₉₀	8,76	8,42	8,50			
	N ₄₅ P ₆₀ K ₉₀	9,33	8,93	9,15			
НСР ₀₅		0,57			0,39	0,39	0,39

В среднем за годы пользования (2018-2022 гг.) сбор сухого вещества люцерно-кострецовых смесей составил по вариантам 8,01-10,14 т/га при уборке в фазе бутонизации, 7,72-10,04 т/га при переменной уборке, 7,78-10,21 т/га при уборке в фазе цветения. Различия между сроками уборками нивелировались из-за различного количества осадков и сумм эффективных температур при формировании укосов в годы пользования.

По норме высева компонентов (фактор А) преимущество во все годы исследований и в среднем за годы пользования имела норма вы-

сева 70+40% — получили 9,50 т/га сухого вещества, что на 5,9% больше, чем при норме высева 55+55% (8,97 т/га) и на 11,6% больше, чем при норме высева 40+70% (8,51 т/га). Различия между факторами были достоверными (НСР₀₅ 0,39 т/га). По уровню применения удобрений (фактор В) внесение P₆₀K₉₀ обеспечивало дополнительно 8,1% прибавки сухого вещества, при внесении комплексных удобрений (N₄₅P₆₀K₉₀) прибавка составила 15,1%. Невысокие прибавки от применения минеральных удобрений объясняются недостаточной влагообеспеченностью периодов вегетации в годы проведения исследований.

В среднем за годы пользования наиболее оптимальные условия для формирования урожайности смесей люцерны с кострцом складывались при норме высева 70+40%, внесении минеральных удобрений P₆₀K₉₀ и N₄₅P₆₀K₉₀, уборке в фазе бутонизации, при этом получили наибольший выход сухого вещества — 9,64-10,14 т/га.

При формировании урожая люцерны и костреца в смесях важная роль принадлежит конкурентным взаимоотношениям растений. Фитоценотическая конкуренция — это режим дефицита вещественно-энергетических ресурсов, создаваемый поглощением их всей совокупностью включенных в фитоценоз особей, а также обратное воздействие, которое этот режим дефицита на них оказывает [13, 15]. Наиболее удобным критерием оценки напряженности конкурентных отношений является степень изменения продуктивности отдельных растений или их популяций. Для оценки критерия конкурентной способности компонентов смеси мы применяли показатель «коэффициент конкурентоспособности» (Competitive ratio, CR) [16].

Установлено, что коэффициент конкурентоспособности компонентов зависит от нормы их высева в смеси, уровня применения удобрений и сроков уборки (рис. 1-3).

В 1-й год пользования коэффициент конкурентоспособности (CR) люцерны при снижении ее нормы высева в смесях снижается с 2,4-3,8 при высеве 70% от нормы высева в чистом виде до 0,2-0,4 при высеве 40% (при скашивании в фазе бутонизации), с 2,2-3,3 при высеве 70% до 0,2-0,4 при высеве 40% (при переменном скашивании), с 1,4-2,5 при высеве 70% до 0,2-0,3 при высеве 40% (при скашивании в фазе цветения). Одновременно происходил рост конкурентоспособности костреца — с 0,3-0,4 до 2,5-4,4 (при скашивании в фазе бутонизации), с 0,3-0,5 до 2,5-4,5 (при переменном скашивании), с 0,4-0,7 до 3,0-6,3 (при скашивании в фазе цветения).

В период формирования первого укоса внесение удобрений способствовало росту CR люцерны при его снижении у костреца. Так, в контрольном варианте CR люцерны при скашивании в фазе бутонизации варьировал в пределах 0,4-3,8, костреца — 0,3-2,5 (в зависимости от нормы высева), при внесении P₆₀K₉₀ — 0,3-3,0 и 0,3-3,4, при внесении N₄₅P₆₀K₉₀ — 0,2-2,4 и 0,4-4,4, соответственно. При скашивании в фазе цветения тенденция сохранилась, но CR люцерны снизился в контроле до 0,3-2,5, а костреца, наоборот, увеличилась до 0,4-3,0 (в зависимости от нормы высева), при внесении P₆₀K₉₀ — 0,2-1,8 и 0,6-4,5, при внесении N₄₅P₆₀K₉₀ — 0,2-1,4 и 0,7-6,3, соответственно. При переменном скашивании CR люцерны и костреца имел промежуточные значения.

Изучение влияния сроков скашивания на изменение CR компонентов в агроценозах 1-го года пользования показало, что максимальные показатели CR люцерны получены при скашивании в фазе бутонизации, а при переменном скашивании и скашивании в фазе цветения CR люцерны имел более низкие показатели по сравнению со скашиванием в ранней фазе.

Конкурентоспособность изучаемых видов колеблется в различном направлении при изменении условий произрастания. Во всех вариантах опыта коэффициент CR костреца в смешанных агрофитоценозах был менее 1,0. Этот факт свидетельствует о наличии конкурентных отношений между компонентами создаваемых агрофитоценозов.



Анализ конкурентной способности компонентов в смесях на 2-й год пользования показал, что в среднем за 2019-2021 гг. CR люцерны увеличился по сравнению с значениями 1-го года пользования — по вариантам было 0,2-3,8, на 2-й год пользования стало 0,5-7,3 (рис. 2). При этом отмечено снижение CR костреца с 0,3-6,3 (в зависимости от фона питания и срока уборки) в 1-й год пользования до 0,1-2,0 во 2-й год пользования.

Тенденция изменения CR люцерны и костреца в смешанных посевах на 2-й год пользования была схожей с изменением CR в 1-й год пользования. Так, при уборке в фазе бутонизации CR люцерны уменьшался при снижении нормы высева с 4,7-7,3 при норме высева 70+40% до 0,5-0,8 при норме высева 40+70%, а при уборке в более поздней фазе — с 4,4-7,0 при норме высева 70+40% до 0,5-1,0 при норме высева 40+70%. Внесение минеральных удобрений способствовало снижению CR люцерны — с 0,8-7,3 (при уборке в фазе бутонизации) и 1,0-7,0 (при уборке в фазе цветения) до 0,6-5,6 и 0,8-5,2 при внесении P₆₀K₉₀ и до 0,5-4,7 и 0,5-4,4 при внесении N₄₅P₆₀K₉₀ соответственно.

Изменение CR костреца имело схожую закономерность по норме высева (фактор А): отмечено увеличение CR с 0,1-0,2 при норме высева костреца 40% (при скашивании в фазе бутонизации и цветения) до 1,3-2,0 и 1,0-1,9 при увеличении нормы высева до 70%. Внесение удобрений способствовало, в отличие от люцерны, увеличению CR костреца с 0,1-1,3 и 0,1-1,0 (при скашивании в фазах бутонизации и цветения) до 0,2-1,7 и 0,2-1,3 (при внесении P₆₀K₉₀) и до 0,2-2,0 и 0,2-1,9 (при внесении N₄₅P₆₀K₉₀).

В среднем за годы исследований не выявлено влияния срока уборки на CR люцерны и костреца 2-го года пользования.

Анализ CR люцерно-кострецовых агрофитоценозов на 3-й год пользования (в среднем за 2020-2022 гг.) показал, что по сравнению со 2-м годом пользования снизился CR люцерны при норме высева 70+40% (с 4,7-7,3 до 4,2-6,3 при уборке в фазе бутонизации и с 4,4-7,0 до 2,7-4,0 при уборке в фазе цветения) (рис. 3). Та же тенденция прослеживается и при норме высева 55+55%. При норме высева 40+70% и уборке в фазе бутонизации, наоборот, отмечено увеличение CR люцерны по сравнению со 2-м годом пользования — с 0,5-0,8 до 0,9-1,1.

Снижение CR люцерны на 3-й год пользования (по сравнению со 2-м годом пользования) вызвано стабилизацией густоты травостоя костреца в смеси, то есть постепенной оптимизации густоты агрофитоценоза за счет кущения и побегообразования. Кострец повысил свой CR по сравнению со 2-м годом пользования при переменной уборке с 0,2-1,4 до 0,2-1,7 и уборке в фазе цветения с 0,1-1,9 до 0,3-2,2.

Остальные тенденции, выявленные в 1-й и 2-й годы пользования по влиянию норм высева, уровня применения удобрений и срока уборки, сохранились и на 3-й год пользования. Так, с уменьшением нормы высева люцерны с 70 до 40% выявлено снижение CR люцерны с 4,2-6,3 до 0,9-1,1 при уборке в фазе бутонизации, с 3,1-5,1 до 0,6-0,8 при переменной уборке и с 2,7-4,0 до 0,5-0,6 при уборке в фазе цветения. Изменение нормы высева костреца с 40 до 70% повлекло увеличение его CR с 0,2 до 0,9-1,2 при уборке в фазе бутонизации, с 0,2-0,3 до 1,2-1,7 при переменной уборке и с 0,3-0,4 до 1,7-2,2 при уборке в фазе цветения.

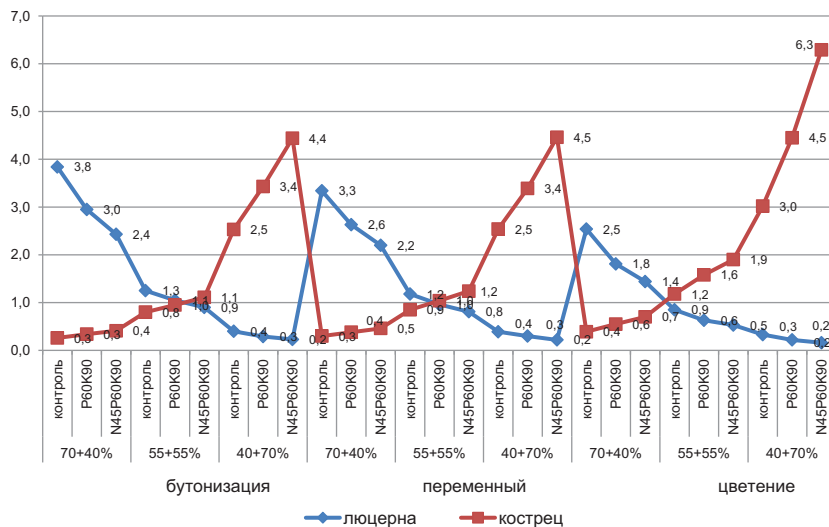


Рисунок 1. Коэффициент конкурентоспособности (CR) люцерны и костреца в смесях при различных нормах высева, уровне применения удобрений и сроках скашивания в 1-й год пользования (в среднем за 2018-2020 гг.)
Figure 1. Competitiveness coefficient (CR) of alfalfa and brome in mixtures at different seeding rates, level of fertilizer application and mowing terms in the 1st (average for 2018-2020)

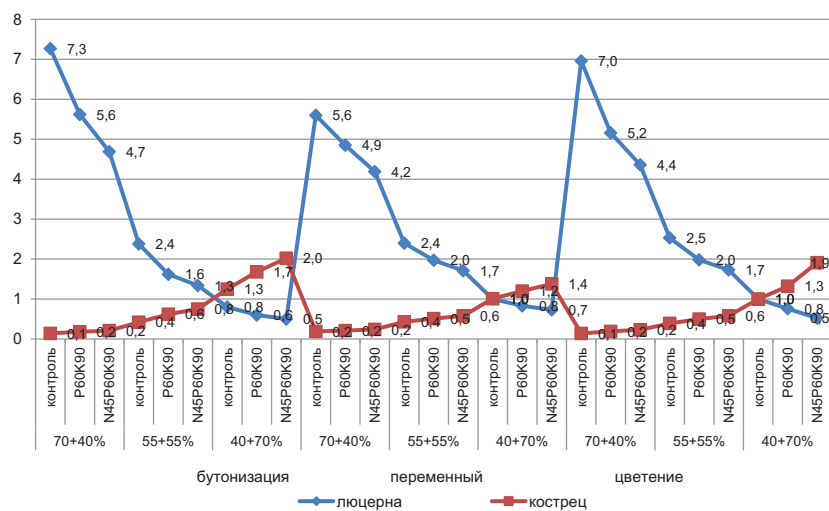


Рисунок 2. Коэффициент конкурентоспособности (CR) люцерны и костреца в смесях при различных нормах высева, уровне применения удобрений и сроках скашивания во 2-й год пользования (в среднем за 2019-2021 гг.)
Figure 2. Competitiveness coefficient (CR) of alfalfa and brome in mixtures at different seeding rates, level of fertilizer application and mowing terms in the 2nd year of use (average for 2019-2021)

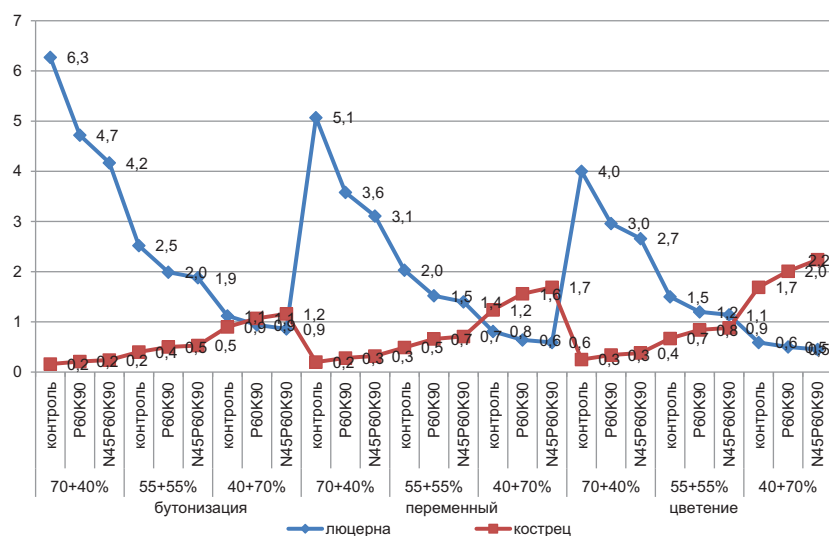


Рисунок 3. Коэффициент конкурентоспособности (CR) люцерны и костреца в смесях при различных нормах высева, уровне применения удобрений и сроках скашивания в 3-й год пользования (в среднем за 2020-2022 гг.)
Figure 3. Competitiveness coefficient (CR) of alfalfa and brome in mixtures at different seeding rates, level of fertilizer application and mowing terms in the 3rd year of use (average for 2020-2022)





Тенденция изменения CR компонентов в зависимости от применения удобрений изменилась по сравнению с предыдущими годами пользования и выглядела следующим образом: внесение $P_{60}K_{60}$ снижало CR люцерны при уборке в фазе бутонизации по сравнению с контролем (без удобрений) при всех нормах высева, а при уборке в фазе цветения CR увеличивался на 0,12-0,15. Внесение $N_{45}P_{60}K_{60}$ увеличивало CR люцерны по сравнению с внесением $P_{60}K_{60}$ при уборке в фазе бутонизации, а при уборке в фазе цветения CR превышал и контрольный вариант (без удобрений).

Тенденция изменения CR костреца при внесении удобрений была схожей с изменением CR люцерны, но носила обратную зависимость — увеличивалась по сравнению с контролем при внесении $P_{60}K_{60}$ и $N_{45}P_{60}K_{60}$ и скашивании в любой срок.

Ранний срок уборки (фаза бутонизации) обеспечивал более высокий CR люцерны — 0,9-6,3 по вариантам, при 0,6-5,1 при переменном скашивании и 0,5-4,0 при скашивании в поздний срок (фаза цветения). У костреца в более поздний срок уборки зеленой массы CR был несколько выше — 0,3-2,2 против 0,2-1,2 при ранней уборке и 0,2-1,7 при переменной уборке.

Заключение. Установлены существенные различия по сбору сухого вещества между нормами высева, уровнем применения удобрений и сроками скашивания в годы пользования. Уменьшение нормы высева люцерны в смеси с 70 до 40% снижает сбор сухого вещества в 1-й год пользования с 11,58 до 10,13 т/га, во 2-й год пользования — с 8,48 до 7,92 т/га, в 3-й год пользования — с 8,46 до 7,48 т/га. Внесение $P_{60}K_{60}$ и $N_{45}P_{60}K_{60}$ обеспечило в 1-й год пользования дополнительную прибавку сбора сухого вещества смесей — 6,9-11,9%, во 2-й год пользования — 8,7-16,4%, на 3-й год пользования — 9,3-18,2%. Скашивание смесей в фазе бутонизации в 1-й год пользования по сбору сухого вещества на 7,8% более эффективно, чем скашивание переменного и на 10,5% в фазе цветения. Во 2-й год пользования между сроками уборки по сбору сухого вещества не выявлено достоверных различий. На 3-й год пользования более эффективен срок уборки в фазе цветения, прибавка составила 6,8-7,1% к сроку уборки в фазе бутонизации и переменному сроку уборки.

В годы пользования люцерны в смесях с кострецом отличалась высоким CR при норме высева 70%. Снижение нормы высева люцерны с 70 до 40% снижает ее CR при одновременном увеличении CR костреца. CR костреца по годам пользования снижается с 0,3-6,3 в 1-й год пользования до 0,2-2,2 в 3-й год пользования. Внесение удобрений способствовало росту CR костреца при его снижении у люцерны.

Список источников

1. Хисматуллин М.М. Бобовые и бобово-злаковые многолетние травы — составная часть органического земледелия Республики Татарстан // Вестник

Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 64-67. doi: 10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270

2. Sturludottir, E. et al. (2014). Benefits of grasses and legumes for herbage yield and nutritive value in Northern mixing Europe and Canada. *Grass and Forage Science*, vol. 69, no. 2, pp. 229-240.

3. Huyghe, C., Litrico, I., Surault, F. (2012). Agronomic value and provisioning services of multi-species swards. *EGF*, vol. 17, pp. 35-46.

4. Лукашов В.Н., Исаков А.Н. Продуктивное долголетие козлятника восточного и травосмесей с его участием // Земледелие. 2017. № 2. С. 26-28.

5. Субботин А.Г., Нарушев В.Б., Солодовников А.П., Денисов К.Е. Создание высокопродуктивных кормовых агроценозов в условиях Нижнего Поволжья // Кормопроизводство. 2019. № 5. С. 8-12. doi: 10.26898/0370-8799-2021-1-5

6. Verret, V. et al. (2017). Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, vol. 204, pp. 158-168.

7. Тюлин В.А. и др. Многолетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья: монография. Тверь: Тверская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. 232 с.

8. B.R. de Haas et al. (2019). Combining agro-ecological functions in grass-clover mixtures. *AIMS Agriculture and Food*, vol. 4, no. 3, pp. 547-567.

9. Иванова М.В., Плотников А.А. Сравнительная эффективность бобово-злаковых травостоев на основе козлятника восточного (*Galéga orientalis* Lam.) // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 1. С. 10-13. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10103

10. Dhakal, D., Islam, M. (2018). Grass-Legume Mixtures for Improved Soil Health in Cultivated Agroecosystem. *Sustainability*, vol. 10, no. 8, p. 2718.

11. Беляк В.Б., Тимошкин О.А. Совершенствование набора культур и структуры кормовых угодий для мясного скота в лесостепной зоне // Международный сельскохозяйственный журнал. 2019. № 1 (367). С. 49-52.

12. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Агрорус, 2008. Т. 1. 816 с.

13. Ракоца Э.Ю., Кудрявцева Т.Г., Хуснидинов Ш.К. Совместные посевы многолетних растений в Приангарье. Иркутск: ООО «Мегапринт», 2008. 160 с.

14. Варламов В.А. Агробиологическое обоснование формирования высокопродуктивных смешанных агрофитоценозов многолетних и однолетних кормовых культур в лесостепи Среднего Поволжья: монография. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 226 с.

15. Работнов Т.А. Экология луговых трав. М.: Изд-во Московского государственного университета, 1985. 176 с.

16. Willey, R.W., Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, vol. 16, no. 2, pp. 117-125.

17. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов, 1997. 193 с.

References

1. Khismatullin, M.M. (2019). Bobovye i bobovo-zlakovye mnogoletnie travy — sostavnaya chast' organicheskogo zemledeliya Respubliki Tatarstan [Legumes and legume-cereal perennial grasses — an integral part of organic farming in the Republic of Tatarstan]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Vestnik of Kazan State Agrarian University], vol. 14, no. 2 (53), pp. 64-67. doi: 10.12737/article_5d3e169f50a868.00369270

2. Sturludottir, E. et al. (2014). Benefits of grasses and legumes for herbage yield and nutritive value in Northern

mixing Europe and Canada. *Grass and Forage Science*, vol. 69, no. 2, pp. 229-240.

3. Huyghe, C., Litrico, I., Surault, F. (2012). Agronomic value and provisioning services of multi-species swards. *EGF*, vol. 17, pp. 35-46.

4. Lukashov, V.N., Isakov, A.N. (2017). Produktivnoe dolgoletie kozlyatnika vostochnogo i travosmеси s ego uchastiev [Productive longevity of goat's rue and grass mixtures with its participation]. *Zemledelie*, no. 2, pp. 26-28.

5. Subbotin, A.G., Narushev, V.B., Solodovnikov, A.P., Denisov, K.E. (2019). Sozdanie vysokoproduktivnykh kormovykh agrotsenozov v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Creation of highly productive fodder agrocenoses in the conditions of the Lower Volga region]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder production], no. 5, pp. 8-12. doi: 10.26898/0370-8799-2021-1-5

6. Verret, V. et al. (2017). Can legume companion plants control weeds without decreasing crop yield? A meta-analysis. *Field Crops Research*, vol. 204, pp. 158-168.

7. Tyulin, V.A. i dr. (2014). *Mноголетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья: монография* [Perennial leguminous grasses in agricultural landscapes of the Non-Chernozem region: monograph]. Tver, Tver State Agricultural Academy, 232 p.

8. B.R. de Haas et al. (2019). Combining agro-ecological functions in grass-clover mixtures. *AIMS Agriculture and Food*, vol. 4, no. 3, pp. 547-567.

9. Ivanova, M.V., Plotnikov, A.A. (2019). Sravnitel'naya effektivnost' bobovo-zlakovykh travostoev na osnove kozlyatnika vostochnogo (*Galéga orientalis* Lam.) [Comparative efficiency of legume-grass stands based on oriental goat's rue (*Galéga orientalis* Lam.)]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the AIC], vol. 33, no. 1, pp. 10-13. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10103

10. Dhakal, D., Islam, M. (2018). Grass-Legume Mixtures for Improved Soil Health in Cultivated Agroecosystem. *Sustainability*, vol. 10, no. 8, p. 2718.

11. Belyak, V.B., Timoshkin, O.A. (2019). Sovershenstvovanie nabora kul'tur i struktury kormovykh ugodii dlya myasnogo skota v lesostepnoy zone [Improving the set of crops and the structure of fodder lands for beef cattle in the forest-steppe zone]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International agricultural journal], no. 1 (367), pp. 49-52.

12. Zhuchenko, A.A. (2008). Adaptivnoe rastenievodstvo (ehkologo-geneticheskie osnovy). Teoriya i praktika [Adaptive crop production (ecological and genetic foundations). Theory and practice]. Moscow, Agrorus Publ., vol. 1, 816 p.

13. Rakotsa, E.Yu., Kudryavtseva, T.G., Khusnidinov, Sh.K. (2008). *Sovmestnye posivy mnogoletnikh rastenii v Priangar'e* [Joint crops of perennial plants in the Angara region]. Irkutsk, LLC "Megaprint", 160 p.

14. Varlamov, V.A. (2008). *Agrobiologicheskoe obosnovanie formirovaniya vysokoproduktivnykh smeshannykh agrofytosenozov mnogoletnikh i odnoletnikh kormovykh kul'tur v lesostepi Srednego Povolzh'ya: monografiya* [Agrobiological substantiation of the formation of highly productive mixed agrophytocenoses of perennial and annual fodder crops in the forest-steppe of the Middle Volga region: monograph]. Penza, RIO PGSKhA, 226 p.

15. Rabotnov, T.A. (1985). *Ehkologiya lugovykh trav* [Ecology of meadow grasses]. Moscow, Publishing house of Moscow State University, 176 p.

16. Willey, R.W., Rao, M.R. (1980). A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Experimental Agriculture*, vol. 16, no. 2, pp. 117-125.

17. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami (1997). [Guidelines for conducting field experiments with fodder crops]. Moscow, VNIИ kormov Publ., 193 p.

Информация об авторе:

Тимошкин Олег Алексеевич, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6928-7343>, oatimoshkin@mail.ru

Information about the author:

Oleg A. Timoshkin, doctor of agricultural sciences, chief researcher of the laboratory of agricultural technologies, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6928-7343>, oatimoshkin@mail.ru