

Влияние абиотических факторов Среднего Предуралья на продуктивность многолетних бобовых трав

Н. И. Касаткина¹✉, Ж. С. Нелюбина¹

¹ Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

✉ E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Аннотация. Цель исследований – изучение влияния абиотических условий и возраста травостоя козлятника восточного и лядвенца рогатого на их кормовую и семенную продуктивность в Среднем Предуралье. **Методы исследований.** Анализ влияния изучаемых факторов на урожайность сухой надземной биомассы и семян козлятника Гале и лядвенца Солнышко был проведен на основе результатов полевых экспериментов, заложенных в Удмуртском НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН в 1995–2005 и 2010–2017 гг. Для оценки влияния условий увлажнения вегетационных периодов на продуктивность трав использовали гидротермический коэффициент (ГТК) Селянинова. **Научная новизна.** В условиях Среднего Предуралья выявлена зависимость кормовой и семенной продуктивности козлятника восточного и лядвенца рогатого от условий увлажнения вегетационного периода и возраста травостоя. **Результаты.** Установлено, что кормовая (8,5 т/га) и семенная (250 кг/га) продуктивность козлятника восточного в течение 10 лет исследований оставалась на достаточно высоком уровне. Лядвенец рогатый наибольшую урожайность сухого вещества 3,8–6,4 т/га формировал во 2–4-й годы пользования травостоем. Высокая урожайность семян (304 и 163 кг/га соответственно) была получена в 1-й и 2-й годы пользования. Козлятник обеспечивал высокую урожайность сухого вещества и семян как в засушливые (ГТК = 0,69), так и в относительно влажные (ГТК = 1,50...1,69) годы. Лядвенец также способен формировать сбор сухого вещества на уровне 4,4–6,4 т/га и в засушливых условиях (ГТК = 0,67...0,87), и при избыточном увлажнении (ГТК = 1,67...1,97). Семенная продуктивность данной культуры была зависима от абиотических условий вегетационного периода. Получению высокой урожайности семян лядвенца способствовали засушливые условия вегетационного периода, особенно в фазе цветения – созревания семян. Для формирования урожайности семян не менее 300 кг/га необходима продолжительность фазы созревания семян не более 30 суток со среднесуточной температурой воздуха в данной фазе 20 °С, суммой осадков 120 мм и ГТК не более 1,4.

Ключевые слова: козлятник восточный, лядвенец рогатый, абиотические условия, возраст травостоя, гидротермический коэффициент, сбор сухого вещества, урожайность семян, корреляция.

Для цитирования: Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С. Влияние абиотических факторов Среднего Предуралья на продуктивность многолетних бобовых трав // Аграрный вестник Урала. 2022. № 04 (219). С. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-219-04-2-13.

Дата поступления статьи: 24.02.2022, **дата рецензирования:** 04.03.2022, **дата принятия:** 10.03.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Козлятник восточный (*Galéga orientális* Lam.) и лядвенец рогатый (*Lotus corniculatus* L.) являются ценными, но пока малораспространенными видами многолетних бобовых культур. Их основные достоинства – продуктивное долголетие, высокая зимостойкость, устойчивость к засухе и болезням, высокое качество корма [1, с. 8–9; 2, с. 5; 3; 4, с. 107, 117; 5, с. 31]. Козлятник и лядвенец относятся к группе поликарпических видов, их биологической особенностью является побегообразование и рост в течение всего вегетационного периода [5, с. 31]. Так, козлятник формирует большой куст, обра-

зая 10–18 стеблей высотой 80–135 см, накапливает большую растительную массу (30–35 т/га). С возрастом травостой козлятника еще более загущается, посевы становятся сплошными [2, с. 5; 4, с. 107]. Лядвенец рогатый также постоянно образует новые побеги от корневой шейки, при этом продолжается активное ветвление и рост стеблей с уже сформировавшимися бобами [5, с. 32; 6, с. 20; 7, с. 78]. Способность лядвенца к побегообразованию очень высокая, на 3–4-й год жизни на кусте может сформировать 180–240 побегов [1, с. 19; 8, с. 39]. Листья козлятника и лядвенца остаются зелеными до созревания семян, что усложняет их

уборку на семена и создает дополнительные трудности для работы комбайнов, особенно в условиях влажного вегетационного периода [9, с. 410]. В связи с этим отмечается высокая вариабельность семенной продуктивности этих культур, особенно лядвенца рогатого, обусловленная как их биологическими особенностями, так и влиянием абиотических условий вегетационного периода [5, с. 35; 6, с. 23; 10, с. 24; 11, с. 272]. Так, уровень вариации урожайности семян лядвенца рогатого по годам может достигать 89 % [6, с. 23]. Влияние погодных условий на продуктивность сельскохозяйственных культур выявлено многими учеными [12, с. 163; 13, с. 31; 14, с. 45; 15, с. 16; 16, с. 15; 17, с. 10]. Наиболее высокие урожаи семян многолетних бобовых трав обычно бывают в годы с достаточным количеством осадков в период до цветения и с сухой солнечной погодой во время цветения и созревания семян [14, с. 42]. Относительно высокая урожайность семян формируется при ГТК не более 1,3–1,6. При увеличении ГТК растения испытывают недостаток тепла [18, с. 947; 19, с. 48; 20, с. 180].

Цель исследований состояла в изучении влияния абиотических условий и возраста травостоя козлятника восточного и лядвенца рогатого на их кормовую и семенную продуктивность в Среднем Предуралье.

Методология и методы исследования (Methods)

Анализ влияния абиотических условий и возраста травостоя на кормовую и семенную продуктивность козлятника восточного Гале (1995–2005 гг.) и лядвенца рогатого Солнышко (2010–2017 гг.) выполнен на основе результатов исследований, проведенных в Удмуртском НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН с использованием общепринятых методических указаний [21; 22]. Полученные экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке методом дисперсионного анализа, алгоритмы которых изложены Б. А. Доспеховым [23]. Посев козлятника был проведен в 1995 г. без покрова широкорядным способом (60 см), норма высева – 1,0 млн шт. всхожих семян на 1 га. Лядвенец был посеян в 2010, 2011 и 2013 гг. также без покрова обычным рядовым способом с нормой высева 8,0 млн шт. всхожих семян на 1 га. Повторность вариантов в опытах – четырехкратная, расположение вариантов – систематическое. На травостое первого и последующих годов пользования после схода снега проводили боронование, внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}K_{60}$. Урожайность зеленой массы учтена при достижении травмами фазы бутонизации – начала цветения, семян – при созревании 95–100 % бобов козлятника и 75–80 % бобов лядвенца.

Полевые исследования проведены в лесостепной зоне Удмуртской Республики. Продолжительность вегетационного периода в данной зоне составляет

164–171 сутки, сумма эффективных температур – 1900–2100 °С, сумма осадков за год – 450–500 мм, за вегетационный период – 200–225 мм [24]. Оценку влияния условий увлажнения вегетационных периодов на продуктивность изучаемых трав проводили по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Селянинова. В вегетационные периоды 1996, 2011, 2013 и 2016 гг. суммарное значение ГТК – 0,67–0,87 было наименьшим, что указывает на их недостаточную увлажненность. Вегетационные периоды 1997, 1998, 2002, 2005 и 2014 г. характеризовались достаточным увлажнением, ГТК составило 1,20–1,42. Все остальные годы (1999, 2000, 2001, 2003, 2004, 2012, 2015, 2017) со значением ГТК выше 1,50 отмечены как избыточно увлажненные.

Опыты были заложены на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве со следующими агрохимическими показателями: гумус – 1,9–2,0 %, pH_{KCl} – 5,0–5,9, подвижный фосфор – 421 мг на 1 кг почвы, обменный калий – 218–320 мг на 1 кг почвы.

Результаты (Results)

Изучение потенциальных возможностей кормовой и семенной продуктивности козлятника восточного при разных режимах использования его травостоя показало, что в 1-й год (1996 г.) урожайность семян козлятника была на уровне 130 кг/га, сбор сухой надземной биомассы – 5,63–6,00 т/га. Во 2-й год сбор сухого вещества в варианте с уборкой на корм ежегодно составил 7,21 т/га, что на 1,58 т/га выше урожайности, полученной в 1-й год травостоя. Семенная продуктивность козлятника была 510–660 кг/га, при этом меньше всего (510 кг/га) – в варианте с ежегодной уборкой на семена при $HCP_{05} = 16$ кг/га (таблица 1).

В 3-й год применяемые режимы использования травостоя козлятника существенно не влияли на урожайность сухой массы (5,34–5,48 т/га, $HCP_{05} = 0,17$ т/га) и семян (280–290 кг/га, $F_{\phi} < F_T$). В 4-й год (1999 г.) урожайность семян козлятника составила 400–640 кг/га. При длительном использовании травостоя козлятника на семена его продуктивность существенно снижалась, урожайность была на уровне 400–440 кг/га. При ежегодном чередовании уборки травостоя на корм и семена урожайность семян была на 240 кг/га выше.

В течение 2001–2003 гг. (6–8-й годы) сбор сухого вещества был высоким (10,97–13,80 т/га). Однако наблюдали снижение урожайности семян с 220 до 70 кг/га. В 2004–2005 гг. (9–10-й годы) урожайность сухой биомассы в зависимости от режима использования также была на одинаковом уровне: 7,80 т/га в 9-й год и 9,30–10,30 т/га – в 10-й год. Семенная же продуктивность (310 кг/га) при чередовании уборки травостоя козлятника на корм и семена была в 1,5 раза выше урожайности (180 кг/га), полученной при ежегодной уборке травостоя на семена ($HCP_{05} = 30$ кг/га).

Таблица 1
Кормовая и семенная продуктивность козлятника восточного Гале

Год пользования	Режим использования травостоя				НСР ₀₅	
	На корм (ежегодно)	На корм – на семена	1-й год – на корм, 2–5-й год – на семена, с 6-го года – на корм	На семена (ежегодно)	Корм	Семена
Первый (1996 г.)	5,63	5,97	6,00	130	$F_{\phi} < F_{\tau}$	–
Второй (1997 г.)	7,21	660	640	510	–	16
Третий (1998 г.)	5,48	5,34	290	280	0,17	$F_{\phi} < F_{\tau}$
Четвертый (1999 г.)	8,56	640	440	400	–	21
Пятый (2000 г.)	3,40	3,20	670	280	0,20	39
Шестой (2001 г.)	13,30	200	12,90	220	0,30	$F_{\phi} < F_{\tau}$
Седьмой (2002 г.)	11,42	11,20	10,97	200	0,46	–
Восьмой (2003 г.)	12,00	70	13,80	70	0,36	$F_{\phi} < F_{\tau}$
Девятый (2004 г.)	7,80	10,70	7,80	230	0,35	–
Десятый (2005 г.)	10,30	310	9,30	180	0,79	30
В среднем	8,51	7,34 380	10,13 510	250	0,16	11

Примечание. Жирным шрифтом выделена урожайность семян, кг/га, прямым светлым – урожайность сухого вещества, т/га.

Table 1
Forage and seed productivity of the eastern goat Gale

Year of use	Mode of use of herbage				LSD ₀₅	
	For food (annually)	For food – for seeds	First year – for food, second - fifth year – for seeds, since the sixth year – for food	For seeds (annually)	Food	Seeds
First (1996)	5.63*	5.97	6.00	130	$F_f < F_t$	–
Second (1997)	7.21	660**	640	510	–	16
Third (1998)	5.48	5.34	290	280	0.17	$F_f < F_t$
Fourth (1999)	8.56	640	440	400	–	21
Fifth (2000)	3.40	3.20	670	280	0.20	39
Sixth (2001)	13.30	200	12.90	220	0.30	$F_f < F_t$
Seventh (2002)	11.42	11.20	10.97	200	0.46	–
Eighth (2003)	12.00	70	13.80	70	0.36	$F_f < F_t$
Ninth (2004)	7.80	10.70	7.80	230	0.35	–
Tenth (2005)	10.30	310	9.30	180	0.79	30
Average	8.51	7.34 380	10.13 510	250	0.16	11

Note. The yield of seeds, kg/ha, is highlighted in bold, while the yield of dry matter, t/ha, is highlighted in straight light.

Таблица 2
Кормовая и семенная продуктивность лядвенца рогатого Солнышко

Год пользования	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	В среднем
Урожайность сухого вещества, т/га								
Первый	4,6	2,0		4,9				3,8
Второй		3,1	7,8		5,7			5,5
Третий			7,2	7,7		4,4		6,4
Четвертый				6,5	4,4		4,9	5,3
В среднем	4,6	2,6	7,5	6,4	5,1	4,4	4,9	
Урожайность семян, кг/га								
Первый	389	0		522				304
Второй		0	413		76			163
Третий			83	0		208		97
Четвертый				0	0		0	0
В среднем	389	0	248	174	38	208	0	

Table 2

Forage and seed productivity of the bird's-foot trefoil *Solnyshko*

Year of use	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Average
Dry matter yield, t/ha								
First	4.6	2.0		4.9				3.8
Second		3.1	7.8		5.7			5.5
Third			7.2	7.7		4.4		6.4
Fourth				6.5	4.4		4.9	5.3
Average	4.6	2.6	7.5	6.4	5.1	4.4	4.9	
Seed yield, kg/ha								
First	389	0		522				304
Second		0	413		76			163
Third			83	0		208		97
Fourth				0	0		0	0
Average	389	0	248	174	38	208	0	

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (r) между урожайностью сухого вещества многолетних бобовых трав и метеоусловиями по фазам вегетации

Фаза вегетации	Продолжительность фазы	Температура воздуха		Сумма осадков	ГТК
		Сумма	Среднесуточная		
Козлятник восточный Гале (1996–2005 гг.)					
Отрастание	0,60*	-0,27	-0,51	0,73*	0,70*
Ветвление	0,10	0,71	0,12	0,04	-0,09
Бутонизация	-0,55	-0,61	-0,34	-0,51	-0,20
Начало цветения	0,36	-0,15	-0,85*	-0,79*	-0,69
Лядвенец рогатый Солнышко (2011–2017 гг.)					
Отрастание	-0,78*	-0,67*	0,76*	-0,11	0,45
Ветвление	0,26	0,05	-0,27	-0,20	-0,16
Бутонизация	0,10	0,31	0,50	-0,23	-0,29
Начало цветения	-0,39	-0,24	0,33	-0,22	-0,21

Примечание. * 95-процентный уровень значимости.

Table 3

Coefficients of correlation (r) between the yield of dry matter of perennial legumes and weather conditions in the phases of vegetation

Vegetation phase	Duration of the phase	Air temperature		Precipitation amount	HTC
		The amount	Average daily		
The eastern goat Gale (1996–2005)					
Regrowth	0.60*	-0.27	-0.51	0.73*	0.70*
Branching	0.10	0.71	0.12	0.04	-0.09
Budding	-0.55	-0.61	-0.34	-0.51	-0.20
Flowering	0.36	-0.15	-0.85*	-0.79*	-0.69
The bird's-foot trefoil Solnyshko (2011–2016)					
Regrowth	-0.78*	-0.67*	0.76*	-0.11	0.45
Branching	0.26	0.05	-0.27	-0.20	-0.16
Budding	0.10	0.31	0.50	-0.23	-0.29
Flowering	-0.39	-0.24	0.33	-0.22	-0.21

Note. * Correlation is significant at 95 % probability level.

Кормовая продуктивность лядвенца рогатого в годы исследований изменялась от 2,0 до 7,8 т/га сухого вещества. С возрастом травостоя отмечена тенденция ее увеличения. Так, во 2–4-й годы урожайность была 5,3–6,4 т/га, что на 1,5–2,6 т/га выше урожайности, полученной в 1-й год (таблица 2).

Урожайность семян лядвенца рогатого 1–3-го годов пользования составила 97–304 кг/га, наибольшая – 304 и 163 кг/га соответственно – в 1-й и 2-й

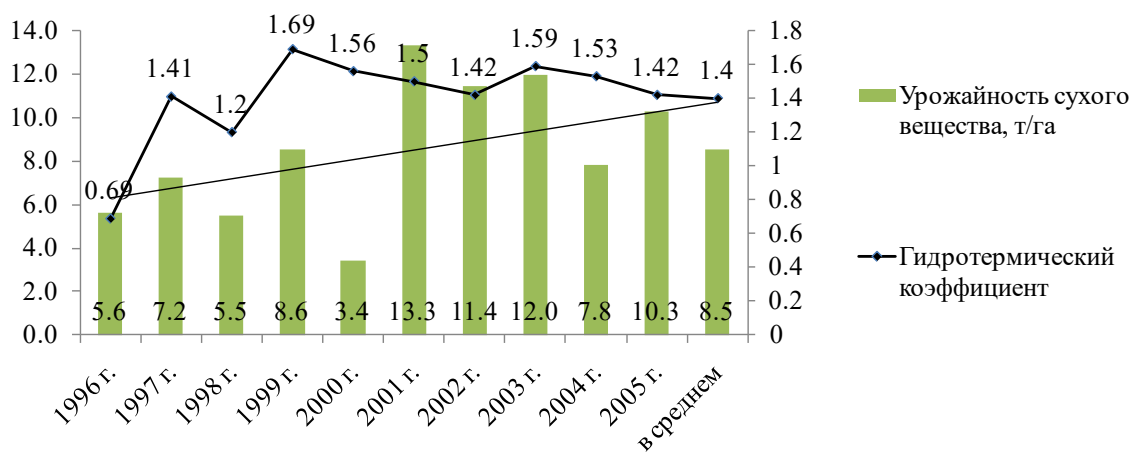
годы пользования. Травостой лядвенца 4-го года ни в одной из трех закладок не сформировал семян.

Выявлено, что изучаемые многолетние бобовые травы являются засухоустойчивыми культурами. Так, козлятник восточный в засушливых условиях 1996 г. с ГТК 0,69 обеспечил урожайность сухой массы 5,6 т/га, лядвенец рогатый в 2011 и 2016 гг. с ГТК 0,87 и 0,67 – 4,6 и 4,4 т/га соответственно. В 2013 г. в таких же условиях (ГТК 0,67) урожай-

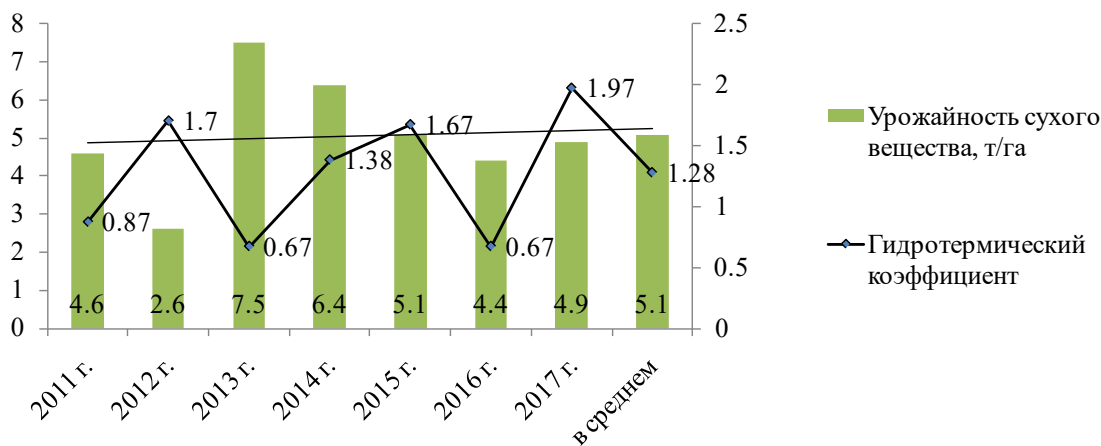
ность лядвенца составила 7,5 т/га, что связано с формированием высокой урожайности во втором укосе (3,3–4,5 т/га). При достаточном увлажнении вегетационного периода кормовая продуктивность изучаемых трав увеличивалась: у козлятника при ГТК 1,20–1,42 в 1997, 1998, 2002 и 2005 гг. она составила 5,5–11,4 т/га, у лядвенца при ГТК 1,38 в 2014 г. – 6,4 т/га. В условиях избыточного увлажнения урожайность сухой массы многолетних трав также не снижалась. Урожайность козлятника в 1999, 2001, 2003 и 2004 гг. составила 7,8–13,3 т/га. Исключение составил 2000 г., когда был убран только один укос с урожайностью 3,4 т/га. Сбор сухого вещества лядвенца в 2015 и 2017 гг. достигал 5,1 и 4,9 т/га соответственно. В условиях 2012 г. в связи с сильным засорением культурного травостоя лядвенца посевы были скошены без учета урожая, проведен только один (второй) укос, урожайность которого составила 2,6 т/га (рис. 1).

Для определения тесноты и связи урожайности многолетних бобовых трав с метеорологическими условиями был проведен корреляционный анализ.

Козлятник имел положительную среднюю корреляцию урожайности сухого вещества с продолжительностью ($r = 0,60$), с суммой осадков ($r = 0,73$) и с ГТК ($r = 0,70$) в период весеннего отрастания. В фазе начала цветения была установлена отрицательная сильная ($r = -0,79...-0,85$) корреляция урожайности со среднесуточной температурой воздуха и с количеством выпавших осадков (таблица 3). Согласно полученному уравнению регрессии $y = 0,4055x + 1,4502$, формирование козлятником восточным урожайности сухого вещества не ниже 10,0 т/га возможно при удлинении периода весеннего отрастания до 21 суток. Сумма осадков в этот период должна составлять не менее 54 мм ($y = 0,0696x + 6,254$). В фазе начала цветения среднесуточная температура воздуха не должна превышать 16,5 °С ($y = -0,8575x + 24,17$) при сумме осадков не более 9,4 мм ($y = -0,3154x + 12,958$). Колебания урожайности сухого вещества на 72 % были вызваны изменениями среднесуточной температуры воздуха и на 62 % – осадками в фазе начала цветения.

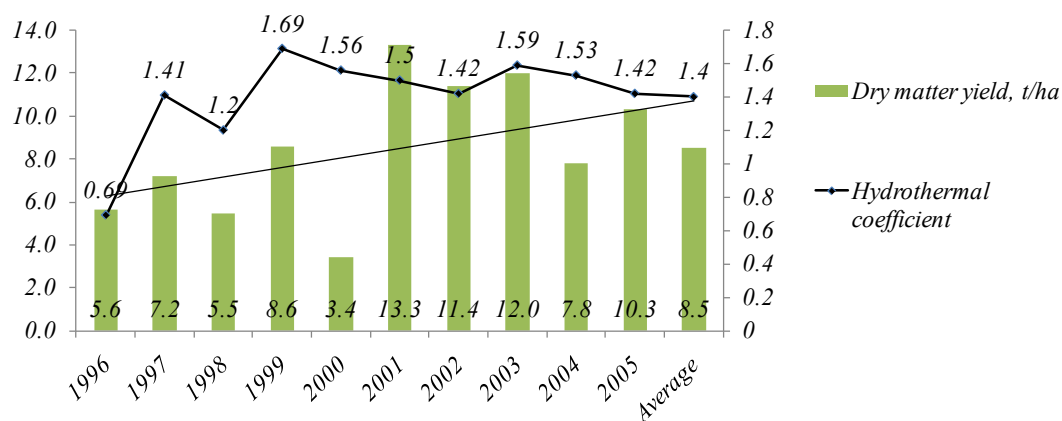


Козлятник восточный Гале

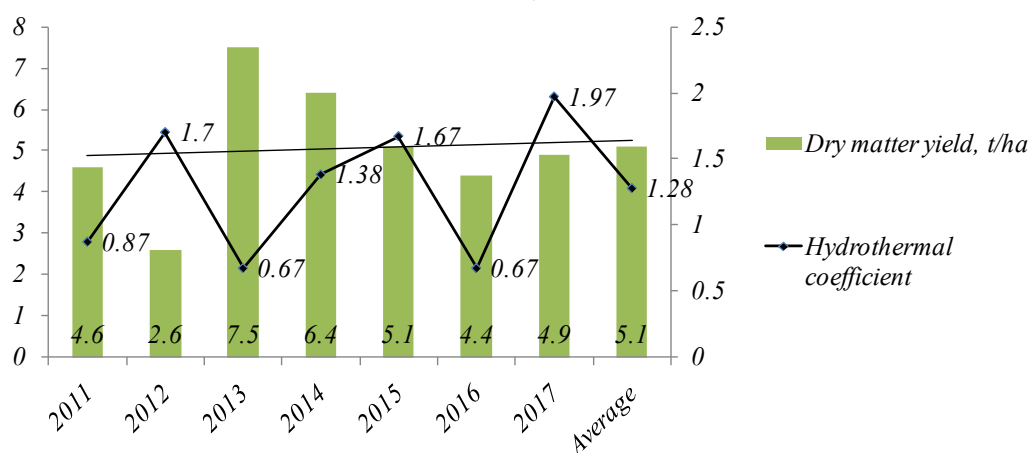


Лядвенец рогатый Солнышко

Рис. 1. Урожайность сухого вещества многолетних бобовых трав в зависимости от ГТК



The eastern goat Gale

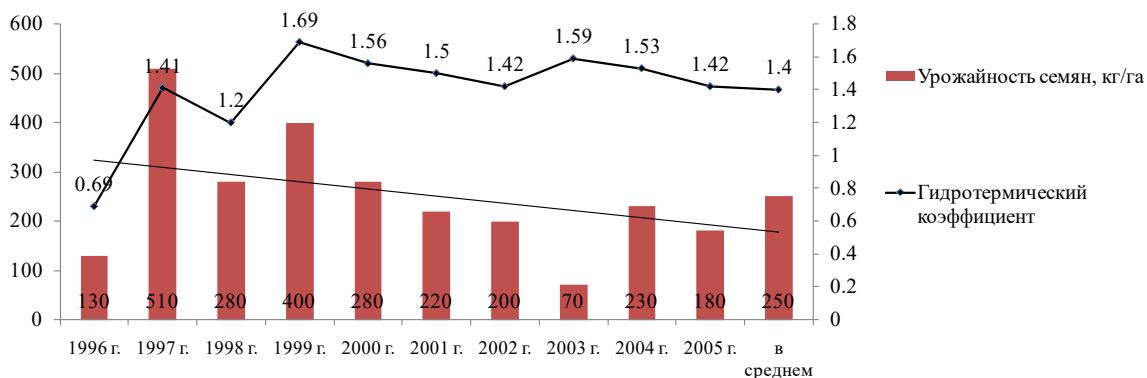


The bird's-foot trefoil Solnyshko

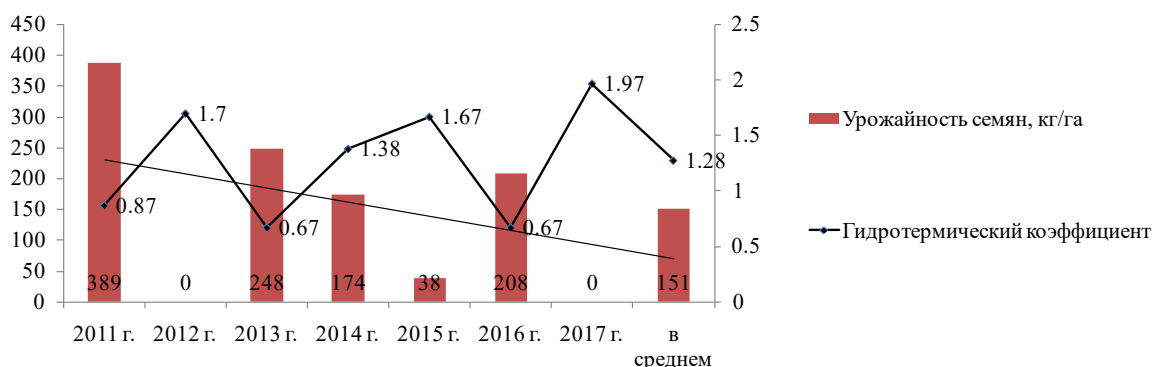
Fig. 1. The yield of dry matter of perennial legumes depending on the hydrothermal coefficient

Урожайность сухого вещества лядвенца рогатого в отличие от козлятника была в отрицательной сильной корреляционной зависимости ($r = -0,78$) от продолжительности периода весеннего отрастания и в положительной сильной ($r = 0,76$) – от среднесуточной температуры воздуха в данный период. С суммой осадков во все фазы развития лядвенца корреляционная зависимость была несущественной. Уравнение регрессии $y = -0,1805x + 8,2207$ показывает, что сбор сухой массы лядвенцем рогатым может составить не менее 6,0 т/га при продолжительности фазы отрастания не более 12 суток. Растения лядвенца положительно отзывались на повышение среднесуточной температуры воздуха в начальный период развития. При среднесуточной температуре воздуха в период весеннего отрастания – ветвления не менее 13,5 °C ($y = 0,6744x - 3,0954$) лядвенец может сформировать урожайность сухого вещества более 6,0 т/га. Зависимость была высокой: $d_{yx} = 0,57$, или 57 %. Согласно рассчитанному уравнению регрессии $y = 0,2519x + 0,725$, сумма осадков в эту фазу не должна превышать 21 мм.

Семенная продуктивность козлятника восточного в засушливом 1996 г. была относительно невысокой (130 кг/га семян), что, вероятно, связано также с недостаточным развитием его травостоя в 1-й год пользования. В то же время засушливые условия 2011, 2013 и 2016 гг. оказались наиболее благоприятными для формирования урожая семян лядвенца рогатого, средняя урожайность составила 208–389 кг/га. В условиях достаточного увлажнения вегетационного периода семенная продуктивность козлятника была на уровне 180–510 кг/га, урожайность семян лядвенца снизилась до 174 кг/га. При избыточном увлажнении 1999, 2000, 2001 и 2004 гг. урожайность семян козлятника 220–400 кг/га также была на достаточно высоком уровне. Исключение составил 2003 г. с урожайностью 70 кг/га. В то же время переувлажненные условия вегетационного периода негативно влияли на семенную продуктивность лядвенца. Так, в 2015 г. средняя урожайность семян была всего 38 кг/га. В 2012 и 2017 гг. лядвенец не сформировал семена, влажные условия вегетационного периода этих годов способствовали вегетативному росту, непрерывному цветению растений и отсутствию бурых бобов (рис. 2).

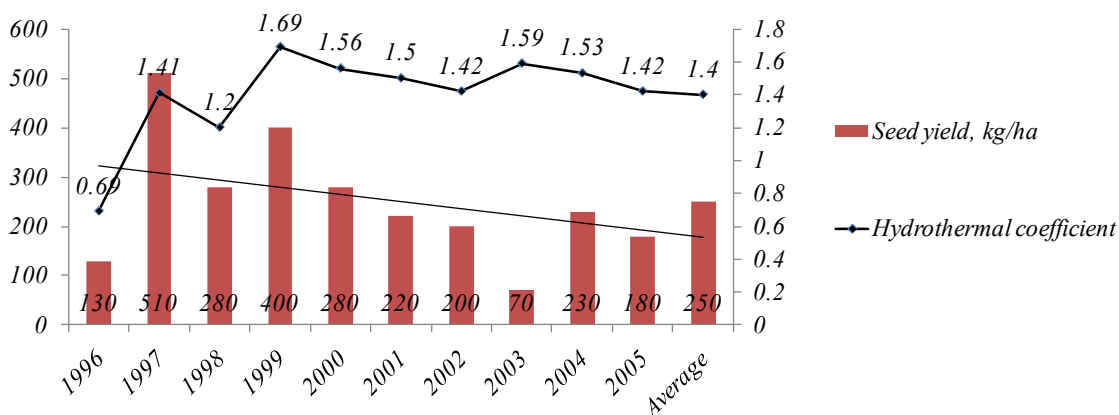


Козлятник восточный Гале

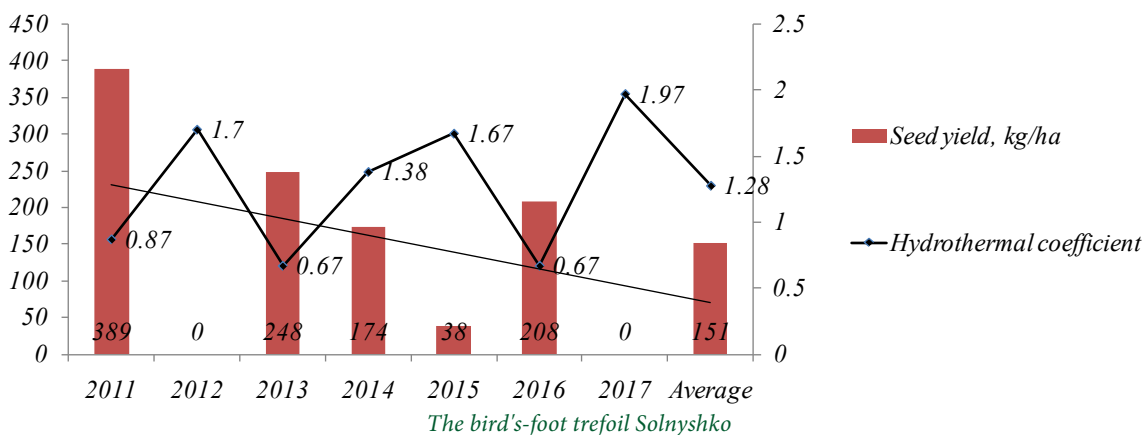


Лядвенец рогатый Солнышко

Рис. 2. Урожайность семян многолетних бобовых трав в зависимости от ГТК



The eastern goat Gale



The bird's-foot trefoil Solnyshko

Fig. 2. The yield of seeds of perennial legumes depending on the hydrothermal coefficient

Коэффициенты корреляции (r) и детерминации (d_{yx}) между урожайностью семян многолетних бобовых трав и метеоусловиями по фазам вегетации

Фаза вегетации	Продолжительность фазы		Среднесуточная температура воздуха		Сумма осадков		ГТК	
	r	d_{yx}	r	d_{yx}	r	d_{yx}	r	d_{yx}
Козлятник восточный Гале (1996–2005 гг.)								
Отрастание	0,27	0,07	-0,57*	0,33	-0,18	0,03	-0,16	0,03
Бутонизация	-0,02	0,00	-0,16	0,03	-0,18	0,03	0,30	0,09
Начало цветения	-0,20	0,04	-0,07	0,01	-0,69*	0,48	-0,37	0,14
Массовое цветение	0,36	0,13	0,10	0,01	0,29	0,08	0,15	0,02
Созревание семян	0,34	0,12	-0,45	0,20	-0,48	0,23	-0,69*	0,48
Лядвенец рогатый Солнышко (2011–2016 гг.)								
Отрастание	-0,37	0,14	-0,21	0,04	0,16	0,03	0,45	0,20
Ветвление	0,13	0,02	0,42	0,18	-0,19	0,04	-0,26	0,07
Бутонизация	-0,19	0,04	-0,02	0,00	-0,18	0,03	0,25	0,06
Цветение	-0,60	0,36	0,51	0,26	-0,55	0,30	-0,29	0,08
Созревание семян	-0,80*	0,64	0,82*	0,67	-0,74*	0,55	-0,91*	0,83

Примечание. * корреляционная связь существенна на 95-процентном уровне вероятности.

Table 4
Coefficients of correlation (r) and determination (d_{yx}) between the yield of seeds of perennial legumes and weather conditions in the phases of vegetation

Vegetation phase	Duration of the phase		Average daily air temperature		Precipitation amount		HTC	
	r	d_{yx}	r	d_{yx}	r	d_{yx}	r	d_{yx}
The eastern goat Gale (1996–2005)								
Regrowth	0.27	0.07	-0.57*	0.33	-0.18	0.03	-0.16	0.03
Budding	-0.02	0.00	-0.16	0.03	-0.18	0.03	0.30	0.09
Beginning of flowering	-0.20	0.04	-0.07	0.01	-0.69*	0.48	-0.37	0.14
Mass flowering	0.36	0.13	0.10	0.01	0.29	0.08	0.15	0.02
Seed maturation	0.34	0.12	-0.45	0.20	-0.48	0.23	-0.69*	0.48
The bird's-foot trefoil Solnyshko (2011–2016)								
Regrowth	-0.37	0.14	-0.21	0.04	0.16	0.03	0.45	0.20
Branching	0.13	0.02	0.42	0.18	-0.19	0.04	-0.26	0.07
Budding	-0.19	0.04	-0.02	0.00	-0.18	0.03	0.25	0.06
Flowering	-0.60	0.36	0.51	0.26	-0.55	0.30	-0.29	0.08
Seed maturation	-0.80*	0.64	0.82*	0.67	-0.74*	0.55	-0.91*	0.83

Note. * correlation is significant at 95 % probability level.

Урожайность семян козлятника имела отрицательную среднюю корреляционную связь со следующими метеоусловиями в период вегетации: среднесуточная температура воздуха в период отрастания $r = -0,57$, сумма осадков в период начала цветения $r = -0,69$, ГТК в фазе созревания семян $r = -0,69$. 48 % ($d_{yx} = 0,48$) колебаний урожайности семян вызывались изменениями ГТК в фазе созревания семян (таблица 4).

В соответствии с полученными уравнениями регрессии формированию урожайности семян козлятника более 400 кг/га способствует среднесуточная температура воздуха не выше 8,0 °C в фазе отрастания ($y = -25,8x + 620,9$), сумма осадков не более 10 мм ($y = -5,6x + 353,9$), сумма положительных температур не менее 300 °C в фазе цветения ($y = 1,1x + 70,5$).

Урожайность семян лядвенца находилась в положительной сильной корреляционной связи со среднесуточной температурой воздуха в фазе созревания семян ($r = 0,82$) и в отрицательной сильной корреляции – с продолжительностью фазы созревания семян ($r = -0,80$), с суммой осадков ($r = -0,74$) и с ГТК в данной фазе ($r = -0,91$). Колебания урожайности семян лядвенца на 67 % ($d_{yx} = 0,67$) вызывались изменениями в фазе созревания семян среднесуточной температуры воздуха и на 83 % ($d_{yx} = 0,83$) – изменениями ГТК в этот же период. Для формирования урожайности семян лядвенца не менее 300 кг/га необходима продолжительность фазы созревания семян не более 30 суток ($y = -13,4x + 708,6$) со среднесуточной температурой воздуха 20 °C ($y = 19,1x - 19,4$), суммой осадков 120 мм ($y = -1,6x + 494,2$) и ГТК не более 1,4

($y = -219,4x + 611,2$). Из семи лет исследований условия, близкие к вышеуказанным, создавались в 43 %.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Таким образом, кормовая (7,34–10,13 т/га сухого вещества) и семенная (250–510 кг/га) продуктивность козлятника восточного в течение 10 лет исследований оставалась на достаточно высоком уровне. Козлятник формировал высокую урожайность сухого вещества и семян как в относительно влажные, так и в засушливые годы. Формирование урожайности 10,0 т/га сухой надземной биомассы козлятником происходило при продолжительности периода весеннего отрастания не менее 21 суток с суммой осадков не менее 54 мм; при среднесуточной температуре воздуха в фазе начала цветения не более 16,5 °С с суммой осадков не более 9,4 мм. Получению урожайности семян козлятника более 400 кг/га способствовала среднесуточная температура воздуха не выше 8,0 °С в фазе отрастания, сумма осадков не более 10 мм и сумма положительных температур не менее 300 °С в фазе цветения.

Наибольшая урожайность сухого вещества лядвенца рогатого 3,8–6,4 т/га была во 2–4-й годы поль-

зования травостоем. Корреляция урожайности сухого вещества с суммой осадков была незначительной, поэтому лядвенец и в засушливых условиях, и при избыточном увлажнении способен обеспечивать сбор сухого вещества на уровне 4,4–6,4 т/га. Формирование урожайности не менее 6,0 т/га сухого вещества происходило при продолжительности периода отрастания – ветвления не более 12 суток со среднесуточной температурой воздуха не ниже 13,5 °С и суммой осадков не менее 21 мм. Семенная продуктивность лядвенца была подвержена колебаниям, обусловленным влиянием как возраста травостоя, так и абиотических условий вегетационного периода. Высокая урожайность семян (304 и 163 кг/га соответственно) получена в 1-й и 2-й годы пользования травостоем. Получению высокой урожайности семян лядвенца способствовали засушливые условия вегетационного периода, особенно в фазе цветения – созревания семян. Для формирования урожайности семян не менее 300 кг/га необходима продолжительность фазы созревания семян не более 30 суток со среднесуточной температурой воздуха в данной фазе 20 °С, суммой осадков 120 мм и ГТК не более 1,4.

Библиографический список

1. Образцов В. Н., Щедрина Д. И. Лядвенец рогатый в черноземной лесостепи. Воронеж, 2012. 233 с.
2. Зубарев Ю. Н., Фалалеева Л. В., Субботина Я. В., Нечунаев М. А. Козлятник восточный – культура XXI века // Пермский аграрный вестник. 2016. № 4 (16). С. 4–9.
3. Kosolapov V., Rud V., Korshunov A., Savchenko I., Switala F., Hogland W. Scientific support of the fodder production: V. R. Williams All-Russian Fodder Research Institute (WFRI) Activity [e-resource] // IOP Conference Series. 2019. Vol. 862. Article number 012010. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/390/1/012010> (date of reference: 15.02.2022).
4. Нагибин А. Е., Тормозин М. А., Зырянцева А. А. Травы в системе кормопроизводства. Екатеринбург, 2018. 784 с.
5. Золотарев В. Н. Биологические особенности плодообразования и формирования урожая семян лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) // Адаптивное кормопроизводство. 2020. № 1. С. 30–34. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-1-30-44.
6. Попова Е. В. Динамика цветения и плодообразование лядвенца рогатого в зависимости от нормы высева и метеорологических условий // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012. № 4 (29). С. 20–23.
7. Золотарев В. Н. Биологическое обоснование способов уборки семенных травостоев лядвенца рогатого // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сборник научных трудов. 2020. Вып. 22 (70). № 1. С. 78–90.
8. Churkova V., Bozhanska T., Naydenova Y. Feeding value of bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) cultivar under conditions of the central northern part of Bulgaria // Banat's Journal of Biotechnology. 2016. Т. VII (14). Pp. 38–45.
9. Сапрыкин С. В., Золотарев В. Н., Иванов И. С., Степанова Г. В., Сапрыкина Н. В., Лабинская Р. М. Научные основы селекции и семеноводства многолетних трав в Центрально-Черноземном регионе России. Воронеж, 2020. 496 с.
10. Рекашус Э. С. Структура урожая семян лядвенца рогатого в зависимости от сорта и типа опыления // Адаптивное кормопроизводство. 2020. № 1. С. 23–29. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-1-23-29.
11. Золотарев В. Н. Проблемные аспекты возделывания козлятника восточного (*Galéga orientális* Lam.) на семена в условиях Центрального Нечерноземья России // Интенсивное земледелие и селекция сельскохозяйственных растений на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессам: сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию НПЦ зернового хозяйства им. А. И. Бараева (Всесоюзный, затем Казахский НИИ зернового хозяйства им. А. И. Бараева). Шортланды, 2021. С. 271–280.

12. Turan N., Celen A. E., Ozyazici M. A. Yield and quality characteristics of some Alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in the Eastern Turkey // *Turkish Journal of Field Crops*. 2017. No. 22 (2). Pp. 160–165.
13. Акманаев Э. Д. Формирование урожайности одноукосного и двухукосного клевера лугового в зависимости от агрометеорологических условий // *Пермский аграрный вестник*. 2018. № 3 (23). С. 30–34.
14. Корелина В. А. Влияние абиотических факторов на семенную продуктивность клевера лугового (*Trifolium pratense* L.) в условиях субарктической зоны РФ // *Адаптивное кормопроизводство*. 2019. № 2. С. 40–47. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47.
15. Бакаева Н. П. Влияние погодных условий, систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 4. С. 12–19.
16. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Оценка агрометеорологических показателей атмосферных засух и урожайности зерновых культур в изменяющихся условиях регионального климата // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2020. № 1. С. 10–17.
17. Мальцева Л. Т., Филиппова Е. А., Банникова Н. Ю. Реакция яровой мягкой пшеницы на засуху в лесостепи Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. 2021. № 12 (215). С. 9–18. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-9-18.
18. Крамаренко В. Я., Юмашев Х. С. Семенная продуктивность люцерны посевной в зависимости от метеорологических условий в северной лесостепи // *АПК России*. 2017. Т. 24. № 4. С. 944–948.
19. Крамаренко В. Я., Вражнов А. В. Урожайность семян люцерны посевной в зависимости от условий увлажнения и солнечной активности в северной лесостепи // *АПК России*. 2018. Т. 25. № 1. С. 45–49.
20. Касаткина Н. И., Нелюбина Ж. С., Фатыхов И. Ш. Влияние погодных условий и способа посева на семенную продуктивность клевера лугового в Среднем Предуралье // *Весті НАН Беларусі. Серія аграрных навук*. 2021. Т. 59. № 2. С. 178–185. DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-2-178-185.
21. Новоселов Ю. К., Киреев В. Н., Кутузов Г. П. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. Москва, 1997. 156 с.
22. Смурыгин М. А., Михайличенко Б. П., Переправо Н. И. [и др.] Методические указания по проведению исследований в семеноводстве многолетних трав. Москва, 1986. 136 с.
23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва, 1985. 416 с.
24. Атлас Удмуртской Республики / Под ред. И. И. Рысина. Москва, 2016. 282 с.

Об авторах:

Надежда Ивановна Касаткина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0003-0725-2254, AuthorID 339584; +7 950 156-86-26, ugniish-nauka@yandex.ru

Жанна Сергеевна Нелюбина¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, ORCID 0000-0001-5751-9557, AuthorID 624201; +7 912 019-99-46, zhannet1976@yandex.ru

¹ Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

The influence of abiotic factors of the Middle Cis-Urals on productivity of perennial legumes

N. I. Kasatkina¹✉, Zh. S. Nelyubina¹

¹ Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

✉E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

Abstract. The aim of the research is to study the influence of abiotic conditions and age of the eastern galega and the bird's-foot trefoil herbage on their fodder and seed productivity in the Middle Cis-Urals. **Research methods.** The influence of the studied factors on the yield of dry aboveground biomass and seeds of galega Gale and bird's-foot Solnyshko was studied on the basis of the results of field experiments laid down at the Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture, UdmFRC UB RAS in 1995–2005 and 2010–2017. The effect of moistening conditions during the growing seasons on grass productivity was assessed using the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC). **Scientific novelty.** Under the conditions of the Middle Cis-Urals, the dependence of fodder and

seed productivity of eastern galega and bird's-foot trefoil on the moistening conditions of the growing season and the herbage age was revealed. **Results.** It was established that the fodder (8.5 t/ha) and seed (250 kg/ha) productivity of the eastern galega remained at a fairly high level during 10 years of research. The bird's-foot trefoil formed the highest dry matter yield (3.8–6.4 t/ha) in the second-fourth years of herbage use. A high seed yield of 304 and 163 kg/ha, respectively, was obtained in the 1st and 2nd years of use. Galega provided a high yield of dry matter and seeds, both in dry (HTC = 0.69) and relatively wet (HTC = 1.50...1.69) years. The bird's-foot is also able to form a dry matter collection at the level of 4.4–6.4 t/ha both in dry conditions (HTC = 0.67...0.87) and with excessive moisture (HTC = 1.67...1.97). The seed productivity of this crop was dependent on the abiotic conditions of the growing season. Dry conditions of the growing season, especially in the phase of flowering – maturation of seeds, contributed to obtaining a high yield of bird's-foot trefoil seeds. To form a seed yield of at least 300 kg/ha, it is necessary the duration of the seed ripening phase is not more than 30 days with an average daily air temperature in this phase of 20 °C, a total precipitation of 120 mm and a HTC of not more than 1.4.

Keywords: eastern goat, bird's-foot trefoil, abiotic conditions, age of the herbage, hydrothermal coefficient, yield of dry matter, yield of seeds, correlation.

For citation: Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S. Vliyaniye abioticheskikh faktorov Srednego Predural'ya na produktivnost' mnogoletnikh bobovykh trav [The influence of abiotic factors of the Middle Cis-Urals on productivity of perennial legumes] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 04 (219). Pp. 2–13. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-219-04-2-13. (In Russian.)

Date of paper submission: 24.02.2022, **date of review:** 04.03.2022, **date of acceptance:** 10.03.2022.

References

1. Obraztsov V. N., Shchedrina D. I. Lyadvenets rogatyy v chernozemnoy lesostepi [The bird's-foot trefoil in chernozem forest-steppe]. Voronezh, 2012. 233 p. (In Russian.)
2. Zubarev Yu. N., Falaleyeva L. V., Subbotina Ya. V., Nechunayev M. A. Kozlyatnik vostochnyy – kul'tura XXI veka [Eastern galega is a culture of the 21st century] // Perm Agrarian Journal. 2016. No. 4 (16). Pp. 4–9. (In Russian.)
3. Kosolapov V., Rud V., Korshunov A., Savchenko I., Switala F., Hogland W. Scientific support of the fodder production: V. R. Williams All-Russian Fodder Research Institute (WFRI) Activity [e-resource] // IOP Conference Series. 2019. Vol. 862. Article number 012010. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/390/1/012010> (date of reference: 15.02.2022).
4. Nagibin A. E., Tormozin M. A., Zyryantseva A. A. Travy v sisteme kormoproizvodstva [Grasses in the forage system]. Ekaterinburg, 2018. 784 p. (In Russian.)
5. Zolotarev V. N. Biologicheskiye osobennosti plodoobrazovaniya i formirovaniya urozhaya semyan lyadventsa rogatogo (*Lotus corniculatus* L.) [Biological features of fruit formation and seed yield formation of the bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.)] // Adaptive fodder production. 2020. No. 1. Pp. 30–34. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-1-30-44. (In Russian.)
6. Popova E. V. Dinamika tsveteniya i plodoobrazovaniya lyadventsa rogatogov zavisimosti ot normy vyseva i meteorologicheskikh usloviy [Dynamics of flowering and fruiting of the bird's-foot trefoil depending on the seeding rate and meteorological conditions] // Agricultural science Euro-North-East. 2012. No. 4 (29). Pp. 20–23. (In Russian.)
7. Zolotarev V. N. Biologicheskoye obosnovaniye sposobov uborki semennykh travostoyev lyadventsa rogatogo [Biological substantiation of methods for harvesting seed herbage of bird's-foot trefoil] // Mnogofunktional'noye adaptivnoye kormoproizvodstvo: sbornik nauchnykh trudov. 2020. Vol. 22 (70). No. 1. Pp. 78–90. (In Russian.)
8. Churkova B., Bozhanska T., Naydenova Y. Feeding value of bird's-foot trefoil (*Lotus corniculatus* L.) cultivar under conditions of the central northern part of Bulgaria // Banat's Journal of Biotechnology. 2016. T. VII (14). Pp. 38–45.
9. Saprykin S. V., Zolotarev V. N., Ivanov I. S., Stepanova G. V., Saprykina N. V., Labinskaya R. M. Nauchnyye osnovy selektsii i semenovodstva mnogoletnikh trav v Tsentral'no-Chernozemnom regione Rossii [Scientific basis of selection and seed production of perennial grasses in the Central Black Earth region of Russia]. Voronezh, 2020. 496 p. (In Russian.)
10. Rekasus E. S. Struktura urozhaya semyan lyadventsa rogatogo v zavisimosti ot sorta i tipa opyleniya [The structure of the seeds yield of the bird's-foot trefoil depending on the variety and pollination type] // Adaptive fodder production. 2020. No. 1. Pp. 23–29. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2020-1-23-29. (In Russian.)
11. Zolotarev V. N. Problemnyye aspekty vozdeleyvaniya kozlyatnika vostochnogo (*Galéga orientális* Lam.) na semena v usloviyakh Tsentral'nogo Nechernozem'ya Rossii [Problematic aspects of the cultivation of Eastern galega

(*Galéga orientális* Lam.) for seeds in the conditions of the Central Non-Black Earth Region of Russia] // Intensivnoe zemledelie i selektsiya sel'skokhozyaystvennykh rasteniy na ustoychivost' k abioticheskim i bioticheskim stressam: sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 65-letiyu NPTs zernovogo khozyaystva im. A. I. Baraeva (Vsesoyuznyy, zatem Kazakhskiy NII zernovogo khozyaystva im. A. I. Baraeva). Shortandy, 2021. Pp. 271–280. (In Russian.)

12. Turan N., Celen A. E., Ozyazici M. A. Yield and quality characteristics of some Alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in the Eastern Turkey // Turkish Journal of Field Crops. 2017. No. 22 (2). Pp. 160–165.

13. Akmanayev E. D. Formirovaniye urozhaynosti odnokosnogo i dvoukosnogo klevera lugovogo v zavisimosti ot agrometeorologicheskikh usloviy [Formation of the yield of single-cut and double-cut red clover depending on agrometeorological conditions] // Perm Agrarian Journal. 2018. No. 3 (23). Pp. 30–34. (In Russian.)

14. Korelina V. A. Vliyaniye abioticheskikh faktorov na semennuyu produktivnost' klevera lugovogo (*Trifolium pratense* L.) v usloviyakh subarkticheskoy zony RF [Influence of abiotic factors on the seed productivity of red clover (*Trifolium pratense* L.) in the conditions of the subarctic zone of the Russian Federation] // Adaptive fodder production. 2019. No. 2. Pp. 40–47. DOI: 10.33814/AFP-2222-5366-2019-2-40-47. (In Russian.)

15. Bakayeva N. P. Vliyaniye pogodnykh usloviy, sistem obrabotki pochvy i udobreniy na strukturu urozhaya i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy [Influence of weather conditions, tillage systems and fertilizers on crop structure and grain quality of spring wheat] // Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2019. No. 4. Pp. 12–19. (In Russian.)

16. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. Otsenka agrometeorologicheskikh pokazateley atmosferykh zasukh i urozhaynosti zernovykh kul'tur v izmenyayushchikhsya usloviyakh regional'nogo klimata [Evaluation of agrometeorological indicators of atmospheric droughts and crop yields in changing conditions of the regional climate] // Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2020. No. 1. Pp. 10–17. (In Russian.)

17. Mal'tseva L. T., Filippova E. A., Bannikova N. Yu. Reaktsiya yarovoy myagkoy pshenitsy na zasukhu v lesostepi Zaural'ya [Response of spring soft wheat to drought in the forest-steppe of the Trans-Urals] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2021. No. 12 (215). Pp. 9–18. DOI: 10.32417/1997-4868-2021-215-12-9-18. (In Russian.)

18. Kramarenko V. Ya., Yumashev Kh. S. Semennaya produktivnost' lyutserny posevnoy v zavisimosti ot meteorologicheskikh usloviy v severnoy lesostepi [Seed productivity of creeping alfalfa depending on meteorological conditions in the northern forest-steppe] // Agro-Industrial Complex of Russia. 2017. T. 24. No. 4. Pp. 944–948. (In Russian.)

19. Kramarenko V. Ya., Vrazhnov A. V. Urozhaynost' semyan lyutserny posevnoy v zavisimosti ot usloviy uvlazhneniya i solnechnoy aktivnosti v severnoy lesostepi [Productivity of alfalfa creeping seeds depending on the moisture conditions and solar activity in the northern forest-steppe] // Agro-Industrial Complex of Russia. 2018. T. 25. No. 1. Pp. 45–49. (In Russian.)

20. Kasatkina N. I., Nelyubina Zh. S., Fatykhov I. Sh. Vliyaniye pogodnykh usloviy i sposoba poseva na semennuyu produktivnost' klevera lugovogo v Srednem Predural'ye [The influence of weather conditions and the sowing method on the seed productivity of meadow clover in the Middle Urals] // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian sciences series. 2021. Vol. 59. No 2. Pp. 178–185. DOI: 10.29235/1817-7204-2021-59-2-178-185. (In Russian.)

21. Novoselov Yu. K., Kireyev V. N., Kutuzov G. P. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu polevykh opytov s kormovymi kul'turami [Guidelines for conducting field experiments with feed crops]. Moscow, 1997. 156 p. (In Russian.)

22. Smurygin M. A., Mikhaylichenko B. P., Perepravo N. I. et al. Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu issledovaniy v semenovodstve mnogoletnikh trav [Guidelines for research in seed production of perennial herbs]. Moscow, 1986. 136 p. (In Russian.)

23. Dospikhov B. A. Metodika polevogo opyta [Methods of field experience]. Moscow, 1985. 416 p. (In Russian.)

24. Atlas Udmurtskoy Respubliki [Atlas of the Udmurt Republic] / Under the editorship of I. I. Rysin. Moscow, 2016. 282 p. (In Russian.)

Authors' information:

Nadezhda I. Kasatkina¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0003-0725-2254, AuthorID 339584; +7 950 156-86-26, ugniish-nauka@yandex.ru

Zhanna S. Nelyubina¹, candidate of agricultural sciences, senior researcher, ORCID 0000-0001-5751-9557, AuthorID 624201; +7 912 019-99-46, zhannet1976@yandex.ru

¹ Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia