

Адаптивность лядвенца рогатого в Нечерноземье России

С. В. Иванова¹✉, О. В. Курдакова¹

¹ Федеральний научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ E-mail: s.ivanova.sml@fncl.ru

Аннотация. Цель исследований – сравнительное изучение образцов лядвенца рогатого со стандартом Смоленский 1, а также со средним значением урожайности зеленой массы по опыту для выявления наиболее продуктивных и адаптированных к условиям Смоленской области сортономеров для дальнейшей передачи на следующий этап селекционного изучения. **Научная новизна** работы заключается в том, что в селекционном питомнике ФГБНУ ФНЦ ЛК на посевах лядвенца рогатого впервые были изучены результаты адаптивности по показателю урожайности зеленой массы. **Методы.** Рассчитывались показатели пластичности (bi), стабильности (S_d^2), генетической гибкости ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$), стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$), коэффициент вариации (V), коэффициент адаптивности (КА), коэффициент выравненности (B), размах урожайности (d). Почва участка дерново-среднеподзолистая со средним содержанием гумуса 2,3, P_2O_5 222–240 мг/кг, K_2O 102–170 мг/кг почвы, $pH_{\text{сол}}$ 4,9–5,4. Погодно-климатические условия за 2017–2020 гг. были различными: так, ГТК составил 1,2–2,4; САТ 2200–2400 °С. **Результаты.** Из 16 сортономеров самыми урожайными оказались Е-25 (59,3 т/га) и Е-49 (48,1 т/га). Повышенной стрессоустойчивостью обладают номера Е-8, Е-11, Смоленский 1, Е-6, Е-9, Е-50 и Е-25 (–18,8...–28,8 т/га). Лучший показатель генетической гибкости у Е-25, Е-10, Е-16 (52,4 т/га, 48,8 т/га и 45,5 т/га соответственно). Наиболее пластичны образцы Е-19 (1,09), Е-50 (1,05), Е-16 и Е-26 (1,02), Е-6 (0,99). В опыте более стабильны Е-26 (6,27), Е-47 (7,67), Е-16 (8,43) и Е-6 (8,47). Высокую адаптивность показали Е-25, Е-11, Е-10, Е-49 с коэффициентом КА = 1,31...1,06. Хорошей агрономической стабильностью обладают Е-9, Е-10, Е-12, Смоленский 1, Е-47, Е-25, Е-16, Е-6, Е-26 с коэффициентом $B = 80,4...70,1$ %. Всесторонний анализ показателей позволил выделить наиболее ценные для селекционного процесса сортономера лядвенца рогатого для дальнейшего размножения и передачи на следующий этап селекционного изучения: Е-6, Е-9, Е-10, Е-11, Е-12, Е-16, Е-19, Е-25, Е-26, Е-47, Е-49.

Ключевые слова: лядвенец рогатый, урожайность, адаптивность, сорт, сортономер.

Для цитирования: Иванова С. В., Курдакова О. В. Адаптивность лядвенца рогатого в Нечерноземье России // Аграрный вестник Урала. 2022. № 10 (225). С. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-2-11.

Дата поступления статьи: 11.07.2022, **дата рецензирования:** 27.07.2022, **дата принятия:** 05.08.2022.

Постановка проблемы (Introduction)

Развитие сельского хозяйства страны в современных условиях ограниченного ресурсного обеспечения должно основываться на максимальном использовании природно-климатических, экологических и биологических факторов. Кормопроизводство играет роль основной отрасли, оказывающей главное влияние на состояние животноводства и на повышение эффективности земледелия [13, с. 3; 7, с. 28].

Одной из важнейших задач агропромышленного комплекса стало обеспечение отрасли животноводства белковыми кормами высокого качества и в достаточном объеме. При недостатке протеина в кормах проявляется негативное воздействие на здоровье животных, снижается их продуктивность,

нарушаются обменные процессы, происходит перерасход кормов и увеличивается себестоимость продукции. Объемные корма высокого качества уменьшают расход концентратов для получения животными средней и высокой продуктивности [1, с. 17; 12, с. 9; 2, с. 5].

Для лучшего развития отрасли животноводства необходимо увеличение объемов производства качественных кормов на весь период содержания. В условиях Центрального района Нечерноземной зоны РФ сенокосы и пастбища, площадь которых составляет 8,4 млн га, являются основным источником получения высококачественных кормов для животных. Около $\frac{1}{4}$ этих площадей занимают сенокосы, имеющие большое значение для отрасли животноводства, так как длительность стойлового

периода у крупного рогатого скота в среднем в два раза превышает пастбищный. Сенокосы и пастбища играют важную роль не только в кормопроизводстве. Они оказывают влияние на рациональное природопользование, повышение плодородия почв, накопление гумуса и азота, уменьшая тем самым использование дорогостоящих удобрений [8, с. 25; 23, р. 315].

Основу кормопроизводства составляет совершенствование современных технологий производства, хранения, и использования кормов, а также разработка приемов увеличения продуктивности кормовых растений в полеводстве и на сенокосах и пастбищах. Эффективным пастбищем считается то, которое обеспечивает кормом с ранней весны до поздней осени. Достичь этого можно, высевая подходящие виды трав. Самым доступным способом повышения уровня кормопроизводства и получения высококачественного кормового белка является возделывание многолетних бобовых трав [21, р. 390; 19, р. 354]. Лядвенец рогатый удовлетворяет всем этим требованиям. Кроме того, основной задачей остается рост производства и уменьшение

затрат. Этого можно достичь путем использования в хозяйствах новых высокопродуктивных сортов. В условиях изменения климата необходимо применять особый подход к этим вопросам [14, с. 97; 10, с. 33].

Лядвенец рогатый – одна из перспективных культур для сенокосов и пастбищ, отличающаяся хорошей зимостойкостью, засухоустойчивостью, долговечностью. Лучше других бобовых переносит повышенную кислотность и вытаптывание животными; проявляет высокую устойчивость к болезням и вредителям, дает 2–3 полноценных укоса зеленой массы. Кормовые качества лядвенца рогатого близки к таковым у клевера и люцерны. При поедании животными не вызывает тимпаний, что является его преимуществом перед другими бобовыми. Однако широкого распространения он не имеет, так как нет научно обоснованных рекомендаций возделывания его на семена, а также мало сортов и дефицит семян в хозяйствах. На 2022 г. в реестр селекционных достижений входят всего 8 районированных сортов лядвенца рогатого. В отличие от клевера лугового растениям лядвенца рогатого свойственно растре-

Таблица 1
Средние агрохимические показатели пахотного слоя почвы (0–20 см) на опытном участке

Год исследования	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	pH _{сол.}
2017	2,30	240	170	5,4
2018	2,30	232	113	4,9
2019	2,35	225	102	5,0
2020	2,35	222	117	5,0

Table 1
Average agrochemical indicators of the arable soil layer (0–20 cm) at the experimental site

Year of study	Humus, %	P ₂ O ₅ , mg/kg	K ₂ O, mg/kg	Salt extract pH
2017	2.30	240	170	5.4
2018	2.30	232	113	4.9
2019	2.35	225	102	5.0
2020	2.35	222	117	5.0

Таблица 2
Погодные условия за годы проведения испытаний

Годы	Среднее количество осадков за год, мм		Сумма активных температур (САТ), °С	Гидротермический коэффициент (ГТК)
	Фактическое	% от нормы		
2017	553	85	2300	1,2
2018	569	88	2400	1,4
2019	667	103	2300	1,8
2020	838	130	2200	2,4

Table 2
Weather conditions over the years of testing

Years	Average annual precipitation, mm		Sum of active temperatures (SAT), °C	Hydrothermal coefficient (HTC)
	Actual	% of the norm		
2017	553	85	2300	1.2
2018	569	88	2400	1.4
2019	667	103	2300	1.8
2020	838	130	2200	2.4

скивание стручков и осыпание семян, из-за чего он считается сложным для возделывания [11, с.30].

Основным требованием, предъявляемым к сорту, является повышенная урожайность. Добиться этого, не повышая затрат, поможет использование сортов с высоким адаптивным потенциалом. В последнее время селекционеры большое внимание уделяют пластичности сортов [16, с. 38; 3, с. 42].

Целью исследований стала оценка адаптивного потенциала сортономеров лядвенца рогатого селекции ФГБНУ ФНЦ ЛК в условиях Смоленской области, а также выявление наиболее урожайных образцов по показателям зеленой массы.

Методы исследования (Methods)

Опыт закладывался в 2016 г. на опытном поле селекционного севооборота ФГБНУ ФНЦ ЛК Смоленского ОП из 60 сортообразцов. Наблюдения и анализ проходили с 2017 по 2020 гг. В качестве объекта исследования изучались 16 образцов лядвенца рогатого из питомника отбора В-58 урожая 2012 г., высеянного семенами дикой популяции из Краснодарского края. Сорт Смоленский 1, внесенный в Госреестр селекционных достижений РФ в 1988 г., использовался как стандарт [4].

Почва селекционного питомника дерново-среднеподзолистая, легкосуглинистая. По данным таблицы 1, в первый год исследования почвы содержание подвижного P_2O_5 составило 240 мг/кг, обменного K_2O – 170 мг/кг почвы (по Кирсанову), гумуса – 2,3 % (по Тюрину), рН солевой вытяжки – 5,4 (сла-

бокислая). Во второй год пользования содержание гумуса не изменилось, подвижного P_2O_5 – 232 мг/кг, обменного K_2O – 113 мг/кг; кислотность почвы – 4,9. В 2019 и 2020 гг. анализ почвы показал увеличение содержания гумуса до 2,35; кислотность почвы составила 5,0. Содержание подвижного P_2O_5 уменьшилось до 225–222 мг/кг почвы, а K_2O составило 102–117 мг/кг почвы. Удобрения вносились под предшественник – лен-долгунец в дозах $N_{20}P_{60}K_{60}$. Обработка почвы включала зяблевую вспашку, две культивации с боронованием и прикатывание. Посев лядвенца рогатого проводился в начале мая под покров ярового тритикале вручную. Способ посева обычный рядовой с шириной междурядий 20 см и площадью делянки 1 м² без повторностей, так как в селекционном питомнике повторность однократная. Через каждые 10 образцов высевался стандарт с нормой высева 300 млн шт. всхожих семян на 1 га. Использование посевов двуукосное. Травостой скашивали в фазу начала цветения.

Метеорологические условия 2017–2020 гг. были различными по накоплению тепла и по обеспеченности влагой [15]. Эти данные позволили сделать объективную оценку сортономеров лядвенца рогатого в разных условиях среды. Урожайность зеленой массы сильно зависит от факторов внешней среды. Тепло- и влагообеспеченность считаются из них наиболее важными. Их показателем служит гидротермический коэффициент (ГТК); чем он ниже, тем засушливее территория. За все время проведе-

Таблица 3
Показатели урожайности зеленой массы, стрессоустойчивости и генетической гибкости лядвенца рогатого за годы испытания (т/га)

Сорт/номер	Урожайность за годы испытаний, т/га				$\sum Y_i$	Y_i	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$\frac{Y_{\min} + Y_{\max}}{2}$
	2017	2018	2019	2020				
Смоленский 1 (St)	47,7	52,4	34,6	24,0	158,7	39,7	-24,8	38,2
Е-4	43,4	52,5	51,0	27,7	174,6	43,6	-27,4	40,1
Е-6	51,6	54,1	44,2	26,7	176,7	44,2	-24,9	40,4
Е-8	49,6	41,1	40,2	24,8	155,6	38,9	-18,5	37,2
Е-9	42,9	49,6	48,2	31,1	171,8	43,0	-25,3	40,3
Е-10	40,6	51,7	61,4	36,2	190,0	47,5	-35,1	48,8
Е-11	48,7	55,0	62,7	27,7	194,1	48,5	-21,5	45,2
Е-12	43,4	47,8	36,6	26,4	154,2	38,6	-30,0	37,1
Е-16	49,7	60,5	53,2	30,5	194,0	48,5	-33,5	45,5
Е-19	48,6	52,0	57,8	24,4	182,7	45,7	-44,0	41,1
Е-24	52,9	65,7	45,1	21,7	185,4	46,3	-32,7	43,7
Е-25	64,3	68,2	68,7	36,0	237,2	59,3	-28,8	52,4
Е-26	45,3	53,0	48,6	24,2	171,0	42,8	-37,6	38,6
Е-39	57,8	58,4	34,4	20,7	171,3	42,8	-28,0	39,5
Е-47	51,8	57,1	45,4	29,1	183,5	45,9	-37,5	43,1
Е-49	62,6	63,4	40,6	25,9	192,5	48,1	-33,5	44,6
Е-50	45,5	61,7	46,9	28,2	182,1	45,5	-28,4	44,9
Индекс условий среды (I_j)	4,57	10,31	2,99	-17,87	–	–	–	–

Table 3
Indicators of yield of green mass, stress resistance and genetic flexibility of lotus corniculatus over the years of testing (t/ha)

Grade/number	Yield over the years of testing, t/ha				$\sum Y_i$	Y_i	$Y_{min} - Y_{max}$	$\frac{Y_{min} + Y_{max}}{2}$
	2017	2018	2019	2020				
Smolenskiy 1 (St)	47.7	52.4	34.6	24.0	158.7	39.7	-24.8	38.2
E-4	43.4	52.5	51.0	27.7	174.6	43.6	-27.4	40.1
E-6	51.6	54.1	44.2	26.7	176.7	44.2	-24.9	40.4
E-8	49.6	41.1	40.2	24.8	155.6	38.9	-18.5	37.2
E-9	42.9	49.6	48.2	31.1	171.8	43.0	-25.3	40.3
E-10	40.6	51.7	61.4	36.2	190.0	47.5	-35.1	48.8
E-11	48.7	55.0	62.7	27.7	194.1	48.5	-21.5	45.2
E-12	43.4	47.8	36.6	26.4	154.2	38.6	-30.0	37.1
E-16	49.7	60.5	53.2	30.5	194.0	48.5	-33.5	45.5
E-19	48.6	52.0	57.8	24.4	182.7	45.7	-44.0	41.1
E-24	52.9	65.7	45.1	21.7	185.4	46.3	-32.7	43.7
E-25	64.3	68.2	68.7	36.0	237.2	59.3	-28.8	52.4
E-26	45.3	53.0	48.6	24.2	171.0	42.8	-37.6	38.6
E-39	57.8	58.4	34.4	20.7	171.3	42.8	-28.0	39.5
E-47	51.8	57.1	45.4	29.1	183.5	45.9	-37.5	43.1
E-49	62.6	63.4	40.6	25.9	192.5	48.1	-33.5	44.6
E-50	45.5	61.7	46.9	28.2	182.1	45.5	-28.4	44.9
Index of environmental conditions (I)	4.57	10.31	2.99	-17.87	-	-	-	-

ния опыта, согласно данным таблицы 2, самыми оптимальными по температуре и влажности для данной культуры стали 2018 и 2019 гг. с ГТК 1,4 и 1,8 соответственно. Сумма активных температур в 2018 г. составляла 2400 °С при норме 2100–2200 °С; этот год характеризовался ранней теплой весной и летом с температурой выше нормы на 1,8–2,7 °С. Сумма осадков за год не превышала среднееголетний показатель по Смоленской области, равный 647 мм, две трети из которых выпадают в виде дождя, а одна треть в виде снега. Эта сумма составляла в 2018 г. 88 % от него. В 2019 г. весной температурный режим был выше среднеклиматического на 6,4 °С. Летом температура оставалась в пределах нормы, осадки за летние месяцы превысили среднееголетние показатели на 159 мм. В общем за год их количество было в норме. Сумма активных температур в этот период равнялась 2300 °С. Метеорологические условия 2017 г. характеризовались избыточным увлажнением за осенний период, теплыми летом и зимой, осадками в пределах нормы, превышением температуры на 4,5 °С за зимние месяцы над среднеклиматическим показателем. За 2017 г. ГТК был равен 1,2. Сумма осадков за этот год не превышала нормы, составляла 85 %. Погодные условия 2020 г. оказались самыми неблагоприятными с ГТК = 2,4. Это значит, что условия температуры и влагообеспеченности складывались не в пользу повышения урожайности лядвенца рогато-

го. Зима была малоснежная с повышенной на 6,3 °С температурой. Весна холодная с превышающими на 163 % норму осадками. Лето было также холодным и сырым с превышением среднееголетнего показателя на 177 % по осадкам. В среднем за год объем выпавших осадков превышает многолетний показатель на 30 %. При этом сумма активных температур составляла 2200 °С.

Все фенологические наблюдения и учет урожая проходили по методическим указаниям по селекции и первичному семеноводству многолетних трав [17, с. 376]. Статистическую обработку данных осуществляли методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [5, с. 352] при помощи программы Microsoft Office Excel 2007. Индекс условий среды, параметры экологической пластичности и стабильности определяли методом S. A. Eberhart, W. A. Russell [20, pp. 36–40]; экологическую устойчивость сорта – по А. А. Rosielle, J. Hamblil [22, pp. 943–946]; адаптивную способность и стабильность – по методике Кильчевского и Хотылевой [9, с. 50–80]; коэффициент адаптивности (КА) – по Л. А. Животкову [6, с. 5].

Результаты (Results)

Вданномопытеанализпоказателейадаптивности сортономеров лядвенца рогатого проводился на основании полученных данных по урожайности зеленой массы, которые позволили всесторонне изучить все представленные номера по многим показателям.

Таблица 4
Показатели адаптивности сортономеров лядвенца рогатого

Сорт/номер	Пластичность, b_i	Стабильность, S_d^2	Размах урожайности, d	Коэффициент вариации, V , %	Коэффициент адаптивности, $КА$, %	Коэффициент выравниваемости, $В$, %
Смоленский 1 (St)	0,95	43,30	54,2	32,47	0,88	74,0
E-4	0,87	20,44	47,3	26,01	0,97	74,0
E-6	0,99	8,47	50,6	28,02	0,98	72,0
E-8	0,72	42,77	50,1	26,53	0,86	73,5
E-9	0,65	10,07	37,3	19,58	0,95	80,4
E-10	0,56	121,89	41,1	23,9	1,05	76,1
E-11	1,06	83,51	55,9	30,95	1,07	69,1
E-12	0,72	11,56	44,9	24,17	0,85	75,8
E-16	1,02	8,43	49,6	26,41	1,07	73,6
E-19	1,09	55,75	57,9	32,16	1,01	67,8
E-24	1,46	26,42	67,0	39,91	1,03	60,1
E-25	1,23	24,79	47,6	26,4	1,31	73,6
E-26	1,02	6,27	54,3	29,87	0,95	70,1
E-39	1,31	118,88	64,5	43,21	0,95	56,8
E-47	0,97	7,67	49,0	26,5	1,01	73,5
E-49	1,31	104,23	59,2	37,81	1,06	62,2
E-50	1,05	28,48	54,3	30,08	1,01	69,9

Table 4
Indicators of adaptability of cultivars of the lotus corniculatus

Grade/number	Plasticity, b_i	Stability, S_d^2	The scope of productivity, d	Coefficient of variation, V , %	Coefficient of adaptability, CA	Coefficient of alignment, E , %
Smolenskiy 1 (St)	0.95	43.30	54.2	32.47	0.88	74.0
E-4	0.87	20.44	47.3	26.01	0.97	74.0
E-6	0.99	8.47	50.6	28.02	0.98	72.0
E-8	0.72	42.77	50.1	26.53	0.86	73.5
E-9	0.65	10.07	37.3	19.58	0.95	80.4
E-10	0.56	121.89	41.1	23.9	1.05	76.1
E-11	1.06	83.51	55.9	30.95	1.07	69.1
E-12	0.72	11.56	44.9	24.17	0.85	75.8
E-16	1.02	8.43	49.6	26.41	1.07	73.6
E-19	1.09	55.75	57.9	32.16	1.01	67.8
E-24	1.46	26.42	67.0	39.91	1.03	60.1
E-25	1.23	24.79	47.6	26.4	1.31	73.6
E-26	1.02	6.27	54.3	29.87	0.95	70.1
E-39	1.31	118.88	64.5	43.21	0.95	56.8
E-47	0.97	7.67	49.0	26.5	1.01	73.5
E-49	1.31	104.23	59.2	37.81	1.06	62.2
E-50	1.05	28.48	54.3	30.08	1.01	69.9

В качестве вспомогательного показателя для определения пластичности образцов применялся индекс условий среды (I_j), характеризующий реализацию потенциала сорта в благоприятных и неблагоприятных условиях. Наиболее благоприятные условия для получения высоких урожаев зеленой массы лядвенца рогатого оказались в 2018 г. (55,5 т/га), в 2017 г. (49,8 т/га) и в 2017 г. (48,2 т/га) при высоких положительных значениях индекса условий среды $I_j = +10,31, +4,57$ и $+2,99$ соответственно.

Анализ данных таблицы 3 по сбору зеленой массы лядвенца рогатого за 4 года показал, что средняя урожайность сортономеров составила 45,2 т/га;

на этом же уровне урожайность у E-50 (45,5 т/га), E-19 (45,7 т/га), E-47 (45,9 т/га). Выше среднего показатели у E-10 (47,5 т/га), E-49 (48,1 т/га) и E-11 (48,5 т/га). Ниже контроля дал урожайность образец E-12, а остальные сортономера выше стандарта, но со значениями ниже среднего. В среднем за годы испытания наибольшую урожайность дал образец E-25 (59,3 т/га), превысивший стандартный сорт на 49,4 %. По общему сбору сортономер E-25 имеет самый большой показатель (237,2 т/га), который выше стандарта Смоленский 1 на 78,5 т/га. За четыре года испытаний оказался выше стандартного сорта: +34,8 % в 2017 г., +30,2 % в 2018 г., +98,6 % в

2019 г. и +50 % в 2020 г. Также урожайным оказался сортономер Е-49. С 2017 по 2020 гг. он дал прибавку +31,2 %, +21 %, +17,4 % и +7,9 % к стандарту по годам соответственно.

В постоянно изменяющихся погодно-климатических условиях ценным показателем сорта считается его устойчивость к неблагоприятным факторам: переувлажненности, недостатку влаги, повышенным температурам и др. Этот показатель этой определяется разницей между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и называется стрессоустойчивостью. Чем меньше разрыв между значениями, тем выше стрессоустойчивость сорта и его приспособляемость к условиям среды. Так, по полученным данным номера можно разделить на две группы. К первой относятся сортономера с минимальным размахом, т. е. с высокой стрессоустойчивостью: Е-8, Е-11, Смоленский 1, Е-6, Е-9, Е-4, Е-39, Е-50 и Е-25 (–18,8...–28,8 т/га). Ко второй группе относятся сортономера с большим размахом урожайности, т. е. с низкой стрессоустойчивостью: Е-19, Е-26, Е-47, Е-10, Е-49, Е-16, Е-24, Е-12 (–44...–30,0 т/га).

Генетическая гибкость ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) характеризует урожайность сорта в благоприятных и неблагоприятных условиях; чем выше показатель, тем более гибким считается сорт. В данном случае наиболее урожайными были сортономера Е-25, Е-10, Е-16 с показателями генетической гибкости 52,4 т/га, 48,8 т/га и 45,5 т/га соответственно. Наименьшей сортовой гибкостью обладают стандарт Смоленский 1 (38,2 т/га), Е-8 (37,2 т/га) и Е-12 (37,1 т/га).

Высокая урожайность – основное требование, предъявляемое к современному сорту. При минимальных энергетических затратах он должен обладать устойчивостью к различным неблагоприятным факторам внешней среды и давать хороший урожай в таких условиях, а главное – обладать адаптивностью. Главными ее параметрами считаются экологическая пластичность и стабильность сорта.

Коэффициент экологической пластичности (b) характеризуется отзывчивостью сорта на благоприятные условия среды, принимает значения больше, меньше или равное единице. Отзывчивость сорта тем выше, чем больше этот показатель. В данном опыте, по данным таблицы 4, величина коэффициента экологической пластичности изменялась с 0,56 у сортономера Е-10 до 1,46 у Е-24. Большой отзывчивостью обладают Е-24 (1,46), Е-39 и Е-49 (1,31), Е-25 (1,23). Эти образцы дают существенную прибавку урожайности зеленой массы при оптимальных условиях среды и высоком уровне агротехники, а при низком уровне агрофона или плохих погодных условиях урожай резко снижают. Это сорта интенсивного типа. Урожайность изменяется соответственно условиям возделывания у образцов Е-19 (1,09), Е-50 (1,05), Е-16 и Е-26 (1,02), Е-6 (0,99); с

улучшением таких условий увеличивается урожай, они относятся к высокопластичному типу. Остальные сортономера с показателем пластичности меньше единицы слабо реагируют на изменения условий среды, их можно отнести к экстенсивным.

Также важным показателем адаптивных свойств сорта является стабильность (S_d^2) – это устойчивость к изменяющимся факторам внешней среды, при которых возможно получение стабильных урожаев. Чем меньше отклонение, тем стабильнее сорт. Адаптивным является пластичный сорт с низким показателем стабильности. В данном опыте наиболее стабильны Е-26 (6,27), Е-47 (7,67), Е-16 (8,43) и Е-6 (8,47). К нестабильным можно отнести сортономера с высоким показателем Е-49 (104), Е-39 (118,88) и Е-10 (121,89), они плохо переносят стрессовые условия.

Уровень экологической устойчивости сорта характеризует показатель размаха урожайности (d). Чем он ниже, тем стабильнее урожайность зеленой массы в данных условиях, рассчитывается в процентах. Данный показатель по опыту изменяется от 37,3 % до 67,0 %. Наиболее стабильными стали сортономера с наименьшим размахом урожайности Е-9 (37,3 %), Е-10 (41,1 %), Е-12 (44,9 %).

Коэффициент вариации (V) является отношением среднего квадратического отклонения к среднему урожаю зеленой массы, выражающимся в процентах. Показывает, насколько любой из сортов отклоняется от среднего. Самый низкий показатель у Е-9 (19,58 %) означает среднюю вариабельность сорта. У остальных сортономеров высокий уровень вариабельности ($V = 23,9...43,21$ %).

По показателю урожайности зеленой массы определен коэффициент адаптивности (КА). При $КА \geq 1$ сорта относят к группе высокоадаптивных. В опыте наибольшее значение принадлежит Е-25 (1,31); Е-16, Е-11, Е-49, Е-10, Е-24 (1,07...1,03), Е-19, Е-47, Е-50 (1,01). Эти сортономера способны обеспечить высокие урожаи и хорошо противостоят неблагоприятным условиям среды. Остальные образцы имеют $КА \leq 1$; они относятся к группе низкоадаптивных и хуже противостоят неблагоприятным факторам.

Коэффициент выравненности (В), или агрономической стабильности, показывает степень хозяйственной ценности сорта. Для производства лучшими считаются сорта с показателем $В \geq 70$ %. К таким относятся Е-9, Е-10, Е-12, Е-4, Смоленский 1, Е-8, Е-47, Е-25, Е-16, Е-6, Е-26 с коэффициентом 80,4...70,1 %. У остальных образцов этот показатель ниже (69,9...56,8 %), они имеют меньшую хозяйственную ценность.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion).

За весь цикл испытаний с 2017 по 2020 г. в условиях Смоленской области урожай зеленой массы лядвенца рогатого в среднем за год составил

45,2 т/га. Самыми урожайными оказались сортономера Е-25 (59,3 т/га) и Е-49 (48,1 т/га). Повышенной стрессоустойчивостью обладают номера Е-8, Е-11, Смоленский 1, Е-6, Е-9, Е-4, Е-39, Е-50 и Е-25 (–18,8...–28,8 т/га). Лучший показатель генетической гибкости у Е-25, Е-10, Е-16 (52,4 т/га, 48,8 т/га и 45,5 т/га). Наиболее пластичными стали образцы Е-19 (1,09), Е-50 (1,05), Е-16 и Е-26 (1,02), Е-6 (0,99), с улучшением условий выращивания увеличивается их урожай. В опыте наиболее стабильны Е-26 (6,27), Е-47 (7,67), Е-16 (8,43) и Е-6 (8,47). Высокую адаптивность к условиям возделывания показали Е-25, Е-11, Е-10, Е-49 с коэффициентом КА = 1,31...1,06. Хорошей агрономической стабильностью обладают Е-9, Е-10, Е-12, Е-4, Смо-

ленский 1, Е-8, Е-47, Е-25, Е-16, Е-6, Е-26 с коэффициентом В = 80,4...70,1 %. Общая оценка сортономеров лядвенца рогатого с учетом урожайности зеленой массы позволила выделить следующие образцы для дальнейшего размножения и передачи на следующий этап селекционного изучения: Е-6, Е-9, Е-10, Е-11, Е-12, Е-16, Е-19, Е-25, Е-26, Е-47, Е-49. Данные номера показали лучшие результаты по адаптивности этой культуры в условиях Смоленской области.

Благодарности (Acknowledgements)

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» по теме № 0477-2019-0022-С-01.

Библиографический список

1. Безгодова И. Л., Коновалова Н. Ю., Прядильщикова Е. Н. [и др.] Возделывание перспективных сортов зернобобовых культур на кормовые цели в условиях Европейского Севера России // Владимирский земледелец. 2017. № 2 (80). С. 17–19.
2. Безгодова И. Л., Коновалова Н. Ю. Продуктивность и питательная ценность однолетних смесей, сформированных на основе перспективных сортов зернобобовых культур // АгроЗооТехника. 2018. Т. 1. № 3. С. 5. DOI: 10.15838/alt.2018.1.3.5.
3. Белявская Л. Г., Белявский Ю. В., Диянова А. А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов сои // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 4 (28). С. 42–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11048.
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений [Электронный ресурс]. URL: <http://reestr.gossort.com/reestr/culture/51> (дата обращения: 30.03.2022).
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки исследований): учебник. 6-е изд. Москва: Альянс, 2011. 352 с.
6. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю урожайности // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–6.
7. Золотарев В. Н., Косолапов В. М., Переправо Н. И. Состояние травосеяния и перспективы развития семеноводства многолетних трав в России и Волго-Вятском регионе // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017. № 1 (56). С. 28–34.
8. Иванова С. В., Курдакова О. В. Результаты хозяйственно-ценных показателей перспективного материала лядвенца рогатого в селекционном питомнике в условиях Смоленского региона // Аграрный научный журнал. 2020. № 10. С. 24–27. DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp24-27.
9. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Оценка взаимодействия генотипа и среды в адаптивной селекции растений // Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 1. Общая генетика растений. Минск: Белорусская наука, 2008. С. 50–80.
10. Курдакова О. В., Иванова С. В. Кормовая ценность разных по спелости сортов лядвенца рогатого в зависимости от фаз скашивания // Аграрный вестник Урала. 2019. № 7 (186). С. 33–38. DOI: 10.32417/article_5d52af443bd093.08889912.
11. Курдакова О. В., Иванова С. В. Сравнительное изучение перспективных сортономеров клевера лугового в условиях Смоленской области // Аграрный научный журнал. 2021. № 9. С. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp30-33.
12. Кутузова А. А., Привалова К. Н., Тебердиев Д. М., Проворная Е. Е., Цыбенко Н. С. Экономическая эффективность создания и использования культурных пастбищ для молочного скота в современных условиях // Кормопроизводство. 2020. № 4. С. 9–14.
13. Кутузова А. А., Шпаков А. С., Косолапов В. М. [и др.] Состояние и перспективы развития кормопроизводства в Нечернозёмной зоне РФ // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3–9.
14. Нелюбина Ж. С., Касаткина Н. И. Фотосинтетическая деятельность лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) в зависимости от агротехнических приемов в Среднем Предуралье // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 6 (67). С. 96–101. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.96-101.

15. Погода в Рославле – климатический монитор [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26882> (дата обращения 29.03.2022).
16. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Направления повышения репрезентативности оценок в госсортоспытании, урожайность, экологическая пластичность и гомеостатичность сортов гороха // *Зерновое хозяйство России*. 2018. № 2 (56). С. 38–42.
17. Селекция и семеноводство многолетних трав. Москва: Воронежская областная типография – издательство им. Е. А. Болховитинова, 2005. 376 с.
18. Смурьгин М. А., Новоселова А. С., Константинова А. М. [и др.] Методические указания по селекции многолетних трав. Москва: Подразделение оперативной полиграфии ВИК, 1985. 188 с.
19. Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Gorbacheva A. A., Vorobyova O. V., Borodaeva Z. A., Bespalova E. N., Ermakova L. R. Biological resources of the Fabaceae family in the Cretaceous south of Russia as a source of starting material for drought-resistance selection // *International Journal of Green Pharmacy*. 2018. Vol. 12. No. 2. Pp. 354–358.
20. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966. No. 6 (1). Pp. 36–40.
21. Kosolapov V., Rud V., Korshunov A., Savchenko I., Switala F., Hogland W. Scienti c support of the fodder production: V. R. Williams All-Russian Fodder Research Institute (WFRI) Activity // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. The conference proceedings XVI International youth Science and Environmental Baltic Region Countries Forum. Gdansk, 2019. Article number 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012010.
22. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981. No. 21 (6). Pp. 943–946.
23. Stupakov A. G., Orekhovskaya A. A., Kulikova M. A. [et al.] Ecological and agrochemical bases of the nitrogen regime of typical chernozem depending on agrotechnical methods // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Krasnoyarsk, 2019 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. Article number 52027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.

Об авторах:

Светлана Васильевна Иванова¹, младший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ORCID 0000-0001-8932-7023, AuthorID 869722; +7 950 700-02-30, s.ivanova.sml@fncl.ru

Ольга Васильевна Курдакова¹, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ORCID 0000-0001-9783-7007, AuthorID 866216; +7 951 718-14-87, o.kurdakova.sml@fncl.ru

¹ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

Adaptability indicators of the lotus corniculatus in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia

S. V. Ivanova¹✉, O. V. Kurdakova¹

¹ Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

✉ E-mail: s.ivanova.sml@fncl.ru

Abstract. The purpose of the research is to conduct a comparative study of lotus corniculatus samples with the Smolenskiy 1 standard, as well as with the average yield of green mass according to experience. It is necessary to identify the most productive and adapted to the conditions of the Smolensk region variety numbers for further transfer to the next stage of breeding study. **The scientific novelty** of the work lies in the fact that the results of adaptability in terms of green mass yield were studied for the first time in the breeding nursery of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops on lotus corniculatus crops. **Methods.** The indices of plasticity (b_i), stability (S_d^2), genetic flexibility ($(Y_{\min} + Y_{\max})/2$), stress resistance ($(Y_{\min} - Y_{\max})$), coefficient of variation (V), coefficient of adaptability (CA), coefficient of equalization (E), yield range (d). The soil of the site is sod-medium podzolic with an average humus content of 2.3, P_2O_5 222–240 mg/kg, K_2O 102–170 mg/kg of soil, salt extract pH 4.9–5.4. Weather and climatic conditions for 2017–2020 were different, so HTC 1,2–2,4; SAT 2200–2400 °C. **Results.** Of the 16 cultivars, the most productive were E-25 (59.3 t/ha) and E-49 (48.1 t/ha). The numbers E-8, E-11, Smolen-

skiy 1, E-6, E-9, E-50 and E-25 have increased stress resistance (–18.8 ...–28.8 t/ha). The best indicator of genetic flexibility is in E-25, E-10, E-16 (52.4 t/ha, 48.8 t/ha and 45.5 t/ha). The most plastic samples are E-19 (1.09), E-50 (1.05), E-16 and E-26 (1.02), E-6 (0.99). In the experiment, E-26 (6.27), E-47 (7.67), E-16 (8.43) and E-6 (8.47) are more stable. High adaptability was shown by E-25, E-11, E-10, E-49 with a coefficient of KA = 1.31...1.06. E-9, E-10, E-12, Smolenskiy 1, E-47, E-25, E-16, E-6 have good agronomic stability, E-26 with a coefficient E = 80.4...70.1 %. A comprehensive analysis of the indicators made it possible to identify the most valuable lotus corniculatus cultivar for further reproduction and transfer to the next stage of breeding study: E-6, E-9, E-10, E-11, E-12, E-16, E-19, E-25, E-26, E-47, E-49.

Keywords: lotus corniculatus, yield, adaptability, variety, variety number.

For citation: Ivanova S. V., Kurdakova O. V. Adaptivnost' lyadventsa rogatogo v Nechernozem'e Rossii [Adaptability indicators of the lotus corniculatus in the conditions of the Non-Chernozem zone of Russia] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2022. No. 10 (225). Pp. 2–11. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-225-10-2-11. (In Russian.)

Date of paper submission: 11.07.2022, **date of review:** 27.07.2022, **date of acceptance:** 05.08.2022.

References

1. Bezdgodova I. L., Konovalova N. Yu., Pryadil'shchikova E. N. et al. Vozdelyvaniye perspektivnykh sortov zernobobovykh kul'tur na kormovyye tseli v usloviyakh Yevropeyskogo Severa Rossii [Extraction of perspective grades of grained crops on fodder objectives under the conditions of the European North of Russia] // Vladimir agriculturalist. 2017. No. 2 (80). Pp. 17–19. (In Russian.)
2. Bezdgodova I. L., Konovalova N. Yu. Produktivnost' i pitatel'naya tsennost' odnoletnikh smesey, sformirovannykh na osnove perspektivnykh sortov zernobobovykh kul'tur [Productivity and nutritional value of annual mixtures formed on the basis of promising varieties of grain legume crops] // Agricultural and Livestock Technology. 2018. Vol. 1. No. 3. Pp. 5. DOI: 10.15838/alt.2018.1.3.5. (In Russian.)
3. Belyavskaya L. G., Belyavskiy Yu. V., Diyanova A. A. Otsenka ekologicheskoy stabil'nosti i plastichnosti sortov soi [Estimation of environmental stability and plasticity of soybean varieties] // Legumes and groat crops. 2018. No. 4 (28). Pp. 42–48. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11048. (In Russian.)
4. Gosudarstvennyy reyestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. Tom 1. Sorta rasteniy [State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1. Plant varieties] [e-resource]. URL: <http://reestr.gossort.com/reestr/culture/51> (date of reference: 30.03.2022). (In Russian.)
5. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki issledovaniy): uchebnik [Methods of field experience (with the basics of statistical processing of studies): textbook]. 6th edition. Moscow: Al'yans, 2011. 352 p. (In Russian.)
6. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatuyeva L. I. Metodika vyyavleniya potentsial'noy produktivnosti i adaptivnosti sortov i selektsionnykh form ozimoy pshenitsy po pokazatelyu urozhaynosti // Seleksiya i semenovodstvo. 1994. No. 2. Pp. 3–6. (In Russian.)
7. Zolotarev V. N., Kosolapov V. M., Perepravo N. I. Sostoyaniye travoseyaniya i perspektivy razvitiya semenovodstva mnogoletnikh trav v Rossii i Volgo-Vyatskom regione [The state of grass cultivation and prospects of development of seed production of perennial grasses in Russia and in the Volga-Vyatka region] // Agricultural Science Euro-North-East. 2017. No. 1 (56). Pp. 28–34. (In Russian.)
8. Ivanova S. V., Kurdakova O. V. Rezul'taty khozyaystvenno-tsennyykh pokazateley perspektivnogo materiala lyadventsa rogatogo v selektsionnom pitomnike v usloviyakh Smolenskogo regiona [The results of economically valuable indicators of promising material of lotus corniculatus in a breeding nursery in the conditions of the Smolensk region] // Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 10. Pp. 24–27. DOI: 10.28983/asj.y2020i10pp24-27. (In Russian.)
9. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Otsenka vzaimodeystviya genotipa i sredy v adaptivnoy selektsii rasteniy. V 4 t. T. 1. Obshechaya genetika rasteniy [Genetic and ecological bases of plant breeding. In 4 volumes. Vol. 1. General genetics of plants] // Geneticheskie osnovy selektsii rasteniy. Minsk: Belorusskaya nauka, 2008. Pp. 50–80. (In Russian.)
10. Kurdakova O. V., Ivanova S. V. Kormovaya tsennost' raznykh po spelosti sortov lyadventsa rogatogo v zavisimosti ot faz skashivaniya [The feed value of varieties of different ripeness lotus corniculatus depending on the mowing phases] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2019. No. 7 (186). Pp. 33–38. DOI: 10.32417/article_5d52af443bd093.08889912. (In Russian.)
11. Kurdakova O. V., Ivanova S. V. Sravnitel'noye izucheniye perspektivnykh sortonomerov klevera lugovogo v usloviyakh Smolenskoy oblasti [Comparative study of promising variety numbered clover in the conditions in the

Smolensk region] // Agrarian Scientific Journal. 2021. No. 9. Pp. 30–33. DOI: 10.28983/asj.y2021i9pp30-33. (In Russian.)

12. Kutuzova A. A., Privalova K. N., Teberdiyev D. M., Provornaya E. E., Tsybenko N. S. Ekonomicheskaya effektivnost' sozdaniya i ispol'zovaniya kul'turnykh pastbishch dlya molochnogo skota v sovremennykh usloviyakh [Economic efficiency of farm pastures in modern dairy farming] // Fodder Production. 2020. No. 4. Pp. 9–14. (In Russian.)

13. Kutuzova A. A., Shpakov A. S., Kosolapov V. M. et al. Sostoyaniye i perspektivy razvitiya kormoproizvodstva v Nechernozemnoy zone RF [Current state and potential of Forage Production in the Non-Chernozem region of the Russian Federation] // Fodder Production. 2021. No. 2. Pp. 3–9. (In Russian.)

14. Nelyubina Zh. S., Kasatkina N. I. Fotosinteticheskaya deyatel'nost' lyadventa rogatogo (Lotus corniculatus L.) v zavisimosti ot agrotekhnicheskikh priyemov v Srednem Predural'ye [Photosynthetic activity of a birds-foot trefoil depending on agronomic techniques of the Middle Urals] // Agricultural Science Euro-North-East. 2018. No. 6 (67). Pp. 96–101. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.96-101. (In Russian.)

15. Pogoda v Roslavle – klimaticheskii monitor [e-resource]. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=26882> (date of reference: 29.03.2022). (In Russian.)

16. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Napravleniya povysheniya reprezentativnosti otsenok v gossortoispytanii, urozhaynost', ekologicheskaya plastichnost' i gomeostatichnost' sortovgorokha [The trends to improve representativeness of the assessments in the state variety testing, productivity, ecological plasticity and homeostatic character of pea varieties] // Grain Economy of Russia. 2018. No. 2 (56). Pp. 38–42. (In Russian.)

17. Seleksiya i semenovodstvo mnogoletnikh trav. Moscow: Voronezhskaya oblastnaya tipografiya – izdatel'stvo im. E. A. Bolkhovitinova, 2005. 376 p. (In Russian.)

18. Smurygin M. A., Novoselova A. S., Konstantinova A. M. et al. Metodicheskiye ukazaniya po seleksii mnogoletnikh trav. Moscow: Podrazdeleniye operativnoy poligrafii VIK, 1985. 188 p. (In Russian.)

19. Dumacheva E. V., Cherniavskih V. I., Gorbacheva A. A., Vorobyova O. V., Borodaeva Z. A., Bespalova E. N., Ermakova L. R. Biological resources of the Fabaceae family in the Cretaceous south of Russia as a source of starting material for drought-resistance selection // International Journal of Green Pharmacy. 2018. Vol. 12. No. 2. Pp. 354–358.

20. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966. No. 6 (1). Pp. 36–40.

21. 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 // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The conference proceedings XVI International youth Science and Environmental Baltic Region Countries Forum. Gdansk, 2019. Article number 012010. DOI: 10.1088/1755-1315/390/1/012010.

22. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 1981. No. 21 (6). Pp. 943–946.

23. Stupakov A. G., Orekhovskaya A. A., Kulikova M. A. [et al.] Ecological and agrochemical bases of the nitrogen regime of typical chernozem depending on agrotechnical methods // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 2019 / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk: Institute of Physics and IOP Publishing Limited, 2019. Article number 52027. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052027.

Authors' information:

Svetlana V. Ivanova¹, junior researcher at the laboratory of breeding technologies, ORCID 0000-0001-8932-7023, AuthorID 869722; +7 950 700-02-30, s.ivanova.sml@fncl.ru

Olga V. Kurdakova¹, senior researcher at the laboratory of breeding technologies, ORCID 0000-0001-9783-7007, AuthorID 866216; +7 951 718-14-87, o.kurdakova.sml@fncl.ru

¹Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia