УДК 633.31:631.52(470.61) DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-28-33

СЕМЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ ЛЮЦЕРНЫ НА ЮГЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории многолетних трав, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;
А.А. Регидин, младший научный сотрудник лаборатории многолетних трав, ORCID ID: 0000-0002-3246-1501;
Н.С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, 3, vniizk30@mail.ru

Общее изменение климата на юге России вызывает необходимость создания новых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и кормовых трав, с высокой устойчивостью и пластичностью к климатическим стрессовым факторам. Селекция кормовых растений, адаптированных к изменяющимся экологическим условиям, рассматривается как эффективное средство, позволяющее растениеводству перенести неожиданные возможные изменения климата с наименьшими потерями. Специфическая реакция растений на экологические условия представляет особенный интерес при изучении коллекционных образцов растений, представляющих различные генотипы, а также при выборе сортов для выращивания в конкретных условиях. Изучение стабильности и пластичности коллекционных образцов кормовых трав может также позволить использовать их в различных регионах. Цель исследований – оценка коллекционных образцов люцерны по параметрам экологической пластичности и стабильности по признаку «урожайность семян». Объектами исследований послужили 30 образцов коллекции ВИГРР из США, Канады, Франции и Перу. Выделилась в опыте большая группа образцов с $b_i < 1$. Эти образцы важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на худшие условия. Их нужно будет использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент bi выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,22) и К-47804 (0,29). Коэффициент стабильности σ_d^2, отражающий связь между условиями выращивания и урожайностью семян образцов за годы наблюдений и рассчитанный на основе теоретической урожайности и отклонения теоретической величины от фактической, варьировал от 0,01 до 74,70. Такой размах варьирования свидетельствует о том, что в наборе имеются образцы, устойчивость продуктивности которых обусловлена генетически и достоверно превышает изменчивость средней всего набора. Оценка различий по стабильности урожайности семян, в сравнении со стандартом Ростовская 90, выявила достоверное различие по этому признаку у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Ключевые слова: *люцерна, исходный материал, признак, урожайность семян, пластичность, стабильность, отзывчивость.*

Для цитирования: *Игнатьев С.А., Регидин А.А., Кравченко Н.С. Семенная продуктивность и параметры адаптивности образцов люцерны на юге Ростовской области // Зерновое хозяйство России. № 4(76). С. 28–33. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-76-4-28-33.*

(cc) BY

SEED PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY PARAMETERS OF THE ALFALFA SAMPLES IN THE SOUTH OF THE ROSTOV REGION

S.A. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, mnogoletnie.travy@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0715-2982;
A.A. Regidin, junior researcher of the laboratory for breeding and seed production of perennial grasses, ORCID: 0000-0002-3246-1501;
N.S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory for biochemical estimation of breeding material and seed quality, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548
Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The general climate change in the south of Russia makes the development of new varieties of grain crops, including forage grasses, with high resistance and adaptability to climatic stress factors extremely necessary. The breeding process of forage plant adapted to changing environmental conditions is seen as an effective way to allow crop production to cope with unexpected possible climate changes with the least possible losses. The specific reaction of plants to environmental conditions is of particular interest when studying collection plant samples of different genotypes, as well as when choosing varieties for cultivation in specific conditions. Studying the stability and adaptability of collection samples of forage grasses can also make it possible to use them in different regions. The purpose of the current study was to estimate alfalfa samples by the parameters of ecological adaptability and stability according to the trait 'seed productivity'. The objects of study were 30 samples of the VIR collection from the USA, Canada, France and Peru. There has been identified a large group of samples with $b_i < 1$. These samples were important as genotypes with a weak responsiveness of seed productivity to worse conditions. They are to be used in hybrids to obtain an initial material that is adaptive according to the trait 'seed productivity' in stressful conditions. The smallest bi coefficient was

found in the samples 'K-42694' (0.20), 'K-32783' (0.22) and 'K-47804' (0.29). The stability coefficient σ_d^2, which reflects the correlation between the growing conditions and seed productivity of the samples through the years of study and was calculated on the basis of the theoretical productivity and the deviation of the theoretical value from the actual one, varied from 0.01 to 74.70. This range of variation indicates that the set of samples contains such samples whose stability of productivity is genetically determined and significantly exceeds the variability of the average productivity of the entire set. Estimation of differences according to stability of seed productivity, in comparison with the standard variety 'Rostovskaya 90', revealed a significant difference in this trait in the samples 'K-43272', 'K-50545', 'K-50561'.

Keywords: *alfalfa, initial material, trait, seed productivity, adaptability, stability, responsiveness.*

Введение. Люцерна из-за высокой урожайности и качества получаемого корма является одной из важнейших кормовых культур в мире. Мощно развитая корневая система, способность с помощью клубеньковых бактерий поглощать из воздуха азот и достаточно длительное время произрастать на одном месте делает ее важной агротехнически и экологически значимой (Сапрыкин и др., 2020; Bouton, 2012).

В мире посевные площади люцерны составляют около 40 млн. га. Основные районы ее возделывания: Северная Америка (41%), Европа (25%), Южная Америка (23%), Азия (8%), Африка (2%), Австралия и Океания (1%) (Yuegao, 2009).

В России ее посевные площади из-за слабо развитого животноводства составляют только 2,0–2,5 млн га.

За время хозяйственного использования люцерна, взаимодействуя со средой произрастания, сформировала большое количество форм, популяций, биотипов и экотипов. Широкому разнообразию популяций способствовала и селекционная работа с ней (Moyses et al., 2015).

Общее изменение климата на юге России (Мазур и Иванов, 2004; Кривошеев и др., 2014) вызывает необходимость создания новых сортов сельскохозяйственных культур, в том числе и кормовых трав, с высокой устойчивостью и пластичностью к климатическим стрессовым факторам. Селекция кормовых растений, адаптированных к изменяющимся экологическим условиям, может при этом рассматриваться как эффективное средство, позволяющее растениеводству перенести неожиданные возможные изменения климата с наименьшими потерями (Жученко, 2011; Nascemento et al., 2013).

Специфическая реакция растений на экологические условия представляет особенный интерес при изучении коллекционных образцов растений, представляющих, как правило, различные генотипы, а также при выборе сортов для выращивания в конкретных условиях (Yan, 2016). Изучение стабильности и пластичности коллекционных образцов кормовых трав может также дать возможность использовать их в различных в климатическом отношении регионах.

Цель наших исследований – оценка коллекционных образцов люцерны по параметрам экологической пластичности и стабильности по признаку «урожайность семян».

Материалы и методы исследований. Изучали образцы люцерны на опытном поле «АНЦ «Донской». Объектами исследований послужили образцы из коллекции ВИГРР из США, Канады, Франции и Перу (11, 16, 2, 1 образцов соответственно). За стандарт принят сорт люцерны Ростовская 90.

Закладку опыта, полевые учеты и наблюдения проводили согласно «Методическим указаниям по изучению коллекции многолетних кормовых трав» (1975) и «Методическим указаниям по изучению мировой коллекции многолетних кормовых растений» (1985). Опыт закладывали в трехкратной повторности. Исследования проводили в 2016–2018 гг.

Почвенный покров места проведения опыта представлен черноземом обыкновенным карбонатным тяжелосуглинистым. Агрохимические показатели пахотного слоя почвы – pH-7,1, содержание гумуса – 3,5%, P_2O_5 – 24 мг/кг, K_2O – 340 мг/кг почвы.

Математическую обработку результатов выполняли по «Методике полевого опыта» Б.А. Доспехова (2014), показатель экологической пластичности (b_i) и стабильности (σ_d^2) – по S.A. Eberhart and W.A. Russel (1966) в изложении В.П. Зыкина, И.А. Белан, В.С. Юсова и др. (2005).

В весенний период вегетации условия увлажнения в опыте были близкими к средним многолетним. В марте, апреле и мае 2016 и 2018 гг. отмечалось наименьшее количество осадков. В теплый период осадки носили ливневый характер и на фоне высоких (весной – на 0,5–1,9 °С, летом – на 1,3–3,4 °С выше средних многолетних) температур воздуха оказывали на посевы люцерны кратковременное влияние. В период начала цветения растений люцерны (июнь) среднесуточная относительная влажность воздуха составляла 55–62%, но с 1000 до 1600 она была на уровне 20–35% и с температурой воздуха в это время 29–37 °С. Такие условия не способствовали хорошему опылению цветков растений люцерны, хотя лёт опылителей и посещение цветков были всегда активные.

В условиях 2017 года отмечались более благоприятные условия температурного режима и относительной влажности воздуха.

Результаты и их обсуждение. Чтобы установить наличие или отсутствие взаимодействия «генотип х среда» в изучаемой совокупности образцов люцерны был проведен дисперсионный анализ. Он показал значительное влияние на изменчивость признака «урожайность семян» фактора «условия» (В) – 95,75% (табл. 1).

1. Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта сортообразцов люцерны по признаку «урожайность семян» (2016–2018 гг.)
1. Results of analysis of variance of the two-factor trial of the alfalfa samples according to the trait 'seed productivity' (2016–2018)

Источники варьирования	Степени свободы, Df	Средний квадрат, MS	$F_{факт.}$	$F_{теор.}$	Доля влияния факторов,%
Образец (А)	30	1456,30	604,06	16,9	2,23
Условия (В)	2	62397,05	25881,52	3,10	95,75
Взаимодействие (АВ)	60	1307,61	542,38	1,46	2,01
Повторения в условиях	3	0,01	0,00	2,71	–
Случайные отклонения (ошибки)	90	2,411	–	–	–

Влияния фактора А (образец) и взаимодействия (А х В) хотя и составляли соответственно 2,23 и 2,01%, но они достоверны ($F_{факт.} > F_{теор.}$), то есть опыт проведен корректно.

Расчет индексов среды, характеризующих изменчивость условий, в которых выращивались образцы на семена, показал, что лучшие условия развития генотипа и формирования семян складывались при положительном значении индекса среды в 2017 году (I_j = 39,5) и худшие при отрицательном (-20,6 и -18,8 соответственно в 2016 и 2018 годах) (табл. 2).

2. Семенная продуктивность сортообразцов люцерны и их экологическая стабильность (2016–2018 гг.)
2. Seed productivity of the alfalfa samples and their ecological stability (2016–2018)

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Урожайность по годам, г/м²			$\sum V_j$	V_j	b_i
		2016	2017	2018			
Ростовская 90, ст.	Россия	33,9	133,0	55,5	222,4	74,1	1,50
К-27166	Канада	25,5	154,0	64,5	244,0	81,3	1,86
К-32783	Канада	31,1	52,0	45,0	128,1	42,7	0,22
К-33299	Канада	29,8	88,0	10,5	128,3	42,8	1,14
К-36104	Канада	33,1	89,0	25,0	147,1	49,0	1,01
К-42684	Канада	39,8	69,0	28,5	137,3	45,8	0,58
К-42685	Канада	27,7	83,0	21,0	131,7	45,9	0,99
К-43269	Канада	33,7	112,0	21,0	166,7	55,6	1,43
К-43272	Канада	38,8	140,0	81,0	259,8	86,6	1,37
К-48771	Канада	36,6	110,0	52,5	199,1	66,4	1,11
К-48773	Канада	35,2	72,0	12,0	119,2	39,7	0,81
К-48774	Канада	33,4	81,0	33,0	147,4	49,1	0,81
К-48775	Канада	26,6	80,8	48,0	155,4	51,8	0,74
К-48776	Канада	29,8	96,0	24,0	149,8	49,9	1,17
К-48778	Канада	33,5	96,0	60,0	189,5	63,2	0,84
К-50545	Канада	25,3	186,0	70,5	281,8	93,7	2,35
К-50561	Канада	28,6	161,0	97,5	287,1	95,7	1,68
К-42249	США	30,5	81,0	12,0	123,5	41,2	1,00
К-42694	США	36,1	37,0	13,5	86,6	28,9	0,20
К-45119	США	28,9	89,7	51,0	169,6	56,5	0,85
К-45715	США	24,4	91,2	54,0	174,6	58,2	0,85
К-47800	США	55,3	99,0	57,0	211,3	70,4	0,72
К-47801	США	58,8	79,0	25,5	163,3	54,4	0,59
К-47802	США	34,1	51,0	13,5	98,6	32,9	0,45
К-47803	США	52,1	72,0	22,5	146,6	48,9	0,57
К-47804	США	60,7	56,0	15,0	131,7	49,9	0,29
К-47806	США	28,8	127,0	36,0	191,8	63,9	1,60
К-47807	США	43,7	120,0	19,5	183,2	61,1	1,48
К-42712	Перу	40,1	80,0	55,5	175,6	58,3	0,55
К-39978	Франция	34,2	68,0	12,0	114,2	38,1	0,75
К-43260	Франция	43,4	129,0	39,0	211,4	70,5	1,48
$\sum V_j$	–	1118,5	2982,7	1175,5	–	–	–
V_j	–	36,1	96,2	37,9	–	–	–
I_j	–	-20,6	39,5	-18,8	–	–	–
$НСР_{05}$	–	2,11	9,35	6,35	–	–	–

Анализ семенной продуктивности образцов люцерны с учетом индекса условий среды и в сравнении со стандартом Ростовская 90 показывает, что только К-43272 в этих условиях

достоверно превосходил стандарт все три года наблюдений. Образцы К-50545 и К-50561 превышали стандарт во второй и третий год учета урожая, а образцы К-47800 и К-42712 превосходили стандарт в первый год учета и были на его уровне в третий год, то есть эти образцы слабо реагируют на изменение условий среды снижением урожайности семян. Можно предположить, что К-47800 и К-42712 могут быть важны при создании сортов для возделывания на семена в худших условиях.

Определение индекса условий среды позволяет вычислить и коэффициент линейной регрессии (b_i) для каждого образца.

Коэффициент линейной регрессии (b_i) урожайности показывает реакцию изучаемых объектов на изменение условий выращивания. Размерность коэффициента b_i может быть >1, = 1 или <1. При b_i >1 генотип (сорт) обладает большей отзывчивостью на изменение условий и в этом случае он требователен к более благоприятным условиям возделывания. Такие образцы могут использоваться в создании сортов для интенсивного земледелия. Если у генотипа b_i < 1, то он может быть использован для создания сортов экстенсивного земледелия, где они будут давать максимум отдачи при минимуме затрат. При условии b_i = 1 отмечается соответствие условий выращивания продуктивности генотипа (Зыкин и др., 2011; Косев и Кертикова, 2019).

В изучаемом наборе образцов люцерны К-36104, К-42685, К-42249 имели b_i соответственно 1,01, 0,99 и 1,00, то есть их семенная продуктивность соответствует условиям выращивания.

Также выделилась в опыте большая группа образцов с b_i < 1. Эти образцы, очевидно, важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на неблагоприятные условия. Их можно использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент bi выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,24) и К-47804 (0,29).

Третья группа образцов люцерны имела коэффициент b_i >1. Так, сорт Ростовская 90, используемый в качестве стандарта, внесенный в реестр селекционных достижений и допущенный к использованию в 6 регионе РФ, имел b_i = 1,50. Большим он был только у К-27166 (1,86), К-50545 (2,35), К-50561 (1,68) и К-47806 (1,60). Эти образцы, в том числе и Ростовская 90, реагируют на улучшение условий выращивания повышением урожайности семян и могут использоваться в селекции сортов для интенсивного земледелия.

Рассчитанная теоретическая урожайность изучаемых образцов с использованием коэффициента регрессии урожайности семян показала, что наибольшее несоответствие теоретической урожайности фактической приходится на годы с худшими условиями получения семян (табл. 3).

3. Теоретическая урожайность, отклонение фактической от теоретической и стабильность (среднеквадратическое отклонение) сортообразцов люцерны (2016–2018 гг.)
3. Theoretical productivity, deviation of actual productivity from theoretical one and stability (standard deviation) of the alfalfa samples (2016–2018)

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Теоретическая урожайность, г/м²			Отклонение фактической урожайности от теоретической, г/м²			Коэффициент стабильности, σ_d^2
		годы						
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	
Ростовская 90, ст.	Россия	43,2	133,4	45,9	-9,3	-0,4	9,6	6,16
К-27166	Канада	43,0	154,8	46,3	-17,5	-0,8	18,2	13,03
К-32783	Канада	37,8	52,1	40,5	-6,7	-0,1	4,5	2,25
К-33299	Канада	21,6	37,4	21,6	8,2	0,6	-11,1	6,58
К-36104	Канада	28,2	88,9	30,0	4,9	-0,1	-5,0	1,69
К-42684	Канада	33,9	68,4	34,9	5,9	0,6	-6,4	2,62
К-42685	Канада	23,5	83,0	25,3	4,2	0,0	-4,3	1,24
К-43269	Канада	27,4	109,7	29,9	6,3	2,3	-8,9	4,28
К-43272	Канада	58,4	140,7	60,8	-19,6	-0,7	20,2	27,33
К-48771	Канада	43,5	109,8	45,8	-6,8	0,2	6,7	3,19
К-48773	Канада	23,8	71,1	24,5	11,4	0,9	-12,5	9,90
К-48774	Канада	32,4	81,1	33,9	1,0	-0,1	-0,9	0,06
К-48775	Канада	36,4	81,4	37,7	-9,8	-0,6	10,3	6,98
К-48776	Канада	25,8	96,1	27,9	4,0	-0,1	-3,9	1,08
К-48778	Канада	45,9	96,4	47,4	-12,4	-0,4	12,6	10,78
К-50545	Канада	45,3	186,5	49,5	-20,0	-0,5	21,0	29,01
К-50561	Канада	61,1	162,1	64,2	-32,5	-1,1	33,3	74,70
К-42249	США	20,6	80,7	22,4	9,9	0,3	-10,4	7,11
К-42694	США	24,1	36,1	24,4	12,0	0,9	-10,9	9,09
К-45119	США	39,0	90,1	40,5	-10,1	-0,4	10,5	7,32
К-45715	США	40,7	91,8	42,2	-11,3	-0,6	11,8	9,22
К-47800	США	55,4	99,2	56,7	-0,1	-0,2	0,3	0,01

Сорт, сортообразец	Страна происхождения	Теоретическая урожайность, г/м²			Отклонение фактической урожайности от теоретической, г/м²			Коэффициент стабильности, σ_d^2
		годы						
		2016	2017	2018	2016	2017	2018	
К-47801	США	41,8	78,5	42,9	17,0	0,5	-17,4	20,41
К-47802	США	23,6	50,6	24,4	10,5	0,4	-10,9	7,90
К-47803	США	37,9	71,8	38,0	14,2	0,2	-15,5	15,24
К-47804	США	43,9	60,3	30,5	17,1	-4,3	-15,5	19,00
К-47806	США	30,9	127,1	33,8	-2,1	-0,1	2,2	0,31
К-47807	США	31,2	118,4	33,8	12,5	1,6	-14,3	12,52
К-42712	Перу	47,0	80,0	48,0	-6,9	0,0	7,5	3,58
К-39978	Франция	22,7	67,7	24,0	11,5	0,3	12,0	9,53
К-43260	Франция	40,0	129,0	42,7	3,4	0,0	-3,7	0,87

Коэффициент стабильности σ_d^2, отражающий связь между условиями выращивания и урожайностью семян образцов за годы наблюдений и рассчитанный на основе теоретической урожайности и отклонения теоретической величины от фактической, варьировал от 0,01 до 74,70. Такой размах варьирования, очевидно, свидетельствует о том, что в наборе имеются образцы, устойчивость продуктивности которых обусловлена генетически и достоверно превышает изменчивость средней всего набора.

Оценки различий по стабильности урожайности методика предлагает получать с помощью F-критерия: $F_{факт} = \sigma_d^2(1)/\sigma_d^2(2)$, где $\sigma_d^2(1) > \sigma_d^2(2)$.

В нашем случае $F_{05} = 4{,}215$ при $df_1 = 29$, $df_2 = 1$. В сравнении со стандартом, как сортом, дающим стабильную по годам урожайность семян, обнаружено достоверное различие по этому признаку у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Выводы. По результатам проведенных исследований выделилась в опыте большая группа образцов с $b_i < 1$. Эти образцы важны как генотипы, имеющие слабую реакцию урожайности семян на худшие условия. Их нужно будет использовать в скрещиваниях для получения исходного материала, пластичного по признаку «урожайность семян» в жестких условиях. Наименьший коэффициент bi выявлен у К-42694 (0,20), К-32783 (0,22) и К-47804 (0,29). В сравнении со стандартом обнаружено достоверное различие по стабильности урожайности семян у образцов К-43272, К-50545, К-50561.

Библиографические ссылки

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
2. Жученко А.А. Адаптивные системы селекции растений (эколого-генетические основы). М.: ООО «ОГО Русь», 2011. 1488 с.
3. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Кираев Р.С. Чанышев И.О. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений (методика и оценка). Уфа, 2011. 97 с.
4. Зыкин В.А., Белан И.А., Юсов В.С., Недорезков В.Д., Исмаилов Р.Р., Кадиков Р.К., Исламгулов Д.Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Уфа, 2005. 100 с.
5. Кривошеев Г.Я., Игнатьев А.С., Буин Н.П. Изменение климатических условий в Южной зоне Ростовской области в период вегетации кукурузы // Зерновое хозяйство России. 2014. № 1(31). С. 44–50.
6. Мазур И.И., Иванов И.П. Опасные природные процессы. М.: Экономика, 2004. 702 с.
7. 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. Научное издание. Воронеж: АО «Воронежская областная типография», 2020. 496 с.
8. Косев В., Кертикова Д. Екологична стабилност на образци люцерна по основни количествени признаци // Bulgarian Journal of Crop Science. 2019. 56(2). С. 9–19.
9. Bouton J.H. Breeding lucerne for persistence // Crop and Pasture Science. 2012. 63(2). P. 95–106.
10. Moysés N., Adésio F., Nascemento C., Carolina A., Fabyano S.F., Ferreira P., Cruz R., Damião C. Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes // Revista Ceres. 2015. 62(1). P. 30–36.
11. Nascimento M., Peternelli L.A., Cruz C.D., Nascimento A.C.C., Ferreira R.D.P., Bhering L.L., Salgado C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2013. 13(2). P. 152–156.
12. Yan W. Analysis and handling of GxE in a practical breeding program // Crop Science. 2016. 56(5). P. 2106–2118.
13. Yeagao H., Cash D., Kechang L., Suqin W., Ping Z., Rong G. Global status and development trends of alfalfa // In Alfalfa management guide for Ningxia. 2009. P. 1–14. FAO.

References

1. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of study results)]: uchebnik dlya vysshih sel'skohozyajstvennyh uchebnyh zavedenij. M.: Al'yans, 2014. 351 s.

2. Zhuchenko A.A Adaptivnye sistemy selekcii rastenij (ekologo geneticheskie osnovy) [Adaptive systems of plant breeding (ecological and genetic basis)]. M.: OOO «OGO Rus'», 2011. 1488 s.

3. Zykin V.A., Belan I.A., YUsov V.S., Kiraev R.S. CHanyshev I.O. Ekologicheskaya plastichnost' sel'skohozyajstvennyh rastenij (metodika i ocenka) [Ecological adaptability of agricultural plants (methodology and estimation)]. Ufa, 2011. 97 s.

4. Zykin V.A., Belan I.A., YUsov V.S., Nedorezkov V.D., Ismailov R.R., Kadikov R.K., Islamgulov D.R. Metodika rascheta i ocenki parametrov ekologicheskoj plastichnosti sel'skohozyajstvennyh rastenij [Methodology for calculating and estimating the parameters of the ecological adaptability of agricultural plants]. Ufa, 2005. 100 s.

5. Krivosheev G.YA., Ignat'ev A.S., Buin N.P. Izmenenie klimaticheskih uslovij v YUzhnoj zone Rostovskoj oblasti v period vegetacii kukuruzy [Climate changes in the southern part of the Rostov region during the vegetation period of maize]// Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2014. № 1(31). S. 44-50.

6. Mazur I.I., Ivanov I.P. Opasnye prirodnye processy [Hazardous natural processes]. M.: Ekonomika, 2004. 702 s.

7. Saprykin S.V., Zolotarev V.N., Ivanov I.S., Stepanova G.V., Saprykina N.V., Labinskaya R.M. Nauchnye osnovy selekcii i semenovodstva mnogoletnih trav v Central'no-CHernozemnom regione Rossii [Scientific bases of breeding and seed production of perennial grasses in the Central Blackearth region of Russia]. Nauchnoe izdanie. Voronezh: AO «Voronezhskaya oblastnaya tipografiya», 2020. 496 s.

8. Kosev V., Kertikova D. Ekologichna stabilnost na obrazci lyucerna po osnovni kolichestveni priznaci // Bulgarian Journal of Crop Science. 2019. 56(2). S. 9–19.

9. Bouton J.H. Breeding lucerne for persistence // Crop and Pasture Science. 2012. 63(2). P. 95–106.

10. Moysés N., Adésio F., Nascemento C., Carolina A., Fabyano S.F., Ferreira P., Cruz R., Damião C. Multiple centroid method to evaluate the adaptability of alfalfa genotypes // Revista Ceres. 2015. 62(1). P. 30–36.

11. Nascimento M., Peternelli L.A., Cruz C.D., Nascimento A.C.C., Ferreira R.D.P., Bhering L.L., Salgado C.C. Artificial neural networks for adaptability and stability evaluation in alfalfa genotypes // Crop Breeding and Applied Biotechnology. 2013. 13(2). P. 152–156.

12. Yan W. Analysis and handling of GxE in a practical breeding program // Crop Science. 2016. 56(5). P. 2106–2118.

13. Yeagao H., Cash D., Kechang L., Suqin W., Ping Z., Rong G. Global status and development trends of alfalfa // In Alfalfa management guide for Ningxia. 2009. P. 1–14. FAO.

Поступила: 2.07.21; принята к публикации: 22.07.21.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Игнатьев С.А., Регидин А.А., Кравченко Н.С. – концептуализация исследования, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.