

**ПАРАМЕТРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ
СЕЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ЛОМКОКОЛОСНИКА
СИТНИКОВОГО В УСЛОВИЯХ ЮГА СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

М.С. Шевцова, к. с.-х. н., ФГБНУ «Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии», Абакан, Россия
e-mail: qeenmaria@yandex.ru

В.Ф. Кадоркина, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии», Абакан, Россия

М.Г. Лубочников, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия
e-mail: lubochnikov@inbox.ru

Аннотация. Исследования проведены в 2020 – 2022 гг. в селекционном питомнике «ФГБНУ НИИАП Хакасии». Наиболее благоприятными условиями для формирования урожайности зеленой массы сложились в 2022 году индекс среды ($I_j = +15$), выделены номера АС 14 и АС 15. По экологической пластичности (b_i) и стабильности (Si^2) в различных агроэкологических условиях выделился образец АС 15 ($b_i=1,8$; $Si^2=59,1$), он экологически пластичен и стабилен. Стрессоустойчивостью и генетической гибкостью обладает образец АС 1 (стрессоустойчивость – $-27,2$; генетическая гибкость – $76,4$). На основании экспериментальных данных получен селекционный материал с высокой продуктивностью зеленой массы, экологической пластичностью и стабильностью, устойчивый к почвенно-климатическим условиям юга Средней Сибири.

Ключевые слова: Psathyrostachys juncea, сортообразец, урожайность, пластичность, стабильность, адаптивность

**PARAMETERS OF ECOLOGICAL PLASTICITY OF BREEDING
SAMPLES OF RUSSIAN WILDRYE UNDER THE CONDITIONS OF THE
SOUTH OF CENTRAL SIBERIA**

M.S. Shevtsova, candidate of Agricultural Sciences, Federal State Budgetary Institution "NIIAP Khakassia", Abakan, Russia

e-mail: qeenmaria@yandex.ru

V.F. Kadorkina, Federal State Budgetary Institution "NIIAP Khakassia", Abakan, Russia

M.G. Lubochnikov, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture FRC

KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

e-mail: lubochnikov@inbox.ru

Abstract. Studies were carried out in 2020-2022. in the breeding nursery "FGBNU NIIAP Khakassia." The most favorable conditions for the formation of green mass yield were the medium index ($I_j = + 15$) in 2022, the lines AS 14 and AS 15 were highlighted. According to ecological plasticity (b_i) and stability (S_i^2), a sample of AS 15 ($b_i = 1.8$; $S_i^2 = 59.1$) was outstanding. Stress resistance and genetic flexibility has an AS 1 line (stress resistance - -27.2; genetic flexibility - 76.4). Based on experimental data, a selection material with high green mass productivity, ecological plasticity and stability, resistant to soil-climatic conditions in the south of Central Siberia, was obtained.

Keywords: *Psathyrostachys juncea*, variety sample, yield, plasticity, stability, adaptability

Введение

Современная селекция направлена на усиление адаптивных свойств видов кормовых культур с учетом почвенно-климатического потенциала территории [1, 2]. Сорта нового поколения должны быть пластичными, более урожайными, с повышенной кормовой ценностью и высокой устойчивостью к воздействию неблагоприятных биотических и абиотических факторов среды обитания [3].

В условиях юга Средней Сибири в повышении кормовой продуктивности степных пастбищ большую роль играют засухоустойчивые кормовые культуры, к таким культурам относятся лугопастбищный злак ломкоколосник ситниковый (*Psathyrostachys juncea* (Fisch.)) характеризующийся высокой засухо- и зимостойкостью [4, 5].

В повышении урожайности различных культур ведущая роль принадлежит сорту. Поэтому следует развивать концепцию внедрения таких сортов, которые способны эффективно использовать местные условия роста и развития (тепло, влагу, питательные вещества и др.), обладающие широкой адаптивной способностью и обеспечивающие стабильную урожайность в различных почвенно-климатических условиях в различные годы [2].

Цель исследований – оценка экологической пластичности выделенных образцов ломкоколосника ситникового из селекционного питомника по кормовой продуктивности, сухого вещества.

Методы исследований

Исследования проводились в «ФГБНУ НИИАП Хакасии» в 2020–2022 гг. на каштановой карбонатной легкосуглинистой почве, с неблагоприятными физическими свойствами и большой подверженностью к ветровой эрозии.

Объектом исследования являлись четыре образца ломкоколосника ситникового, отобранных в селекционном питомнике в 2018 году. Размещение последовательное, в трехкратной повторности. Способ размножения вручную, квадратно гнездовым способом. Учетная площадь делянки 1 м². Оценка, наблюдения и учёты проводились по методике полевого опыта [6, 3]. Для расчёта экологической пластичности и стабильности использовали методики S.A. Eberhart and W.A. Russel (1966). Рассчитаны индексы экологической стабильности и пластичности, индекс условий среды (*I_j*), стрессоустойчивость, генетическая гибкость. Для вычисления коэффициента линейной регрессии *b_i* (экологической пластичности) сначала определили индексы условий среды по формуле (1):

$$I_i = \sum Y_{ij}/v - \sum \sum Y_{ij}/v \times n, (1)$$

где, $\sum Y_{ij}$ – сумма урожайности всех сортов за определенный год;

$\sum \{ \sum Y_{ij} \}$ – сумма урожайности всех сортов за все годы;

v – количество сортов;

n – число лет.

Затем для каждого сорта рассчитывали коэффициент регрессии, характеризующий экологическую пластичность по формуле (2):

$$b_i = \frac{\sum Y_{ij} I_j}{\sum I_j^2} \quad (2)$$

где, $\sum Y_{ij} I_j$ – сумма произведения урожайности определенного сорта за определенный год на соответствующую величину индекса условий среды;

$\sum I_j^2$ – сумма квадратов индексов условий среды.

Для определения стабильности зеленой массы рассчитывали по формуле (3) предварительно вычисляли теоретическую урожайность для каждого сорта в отдельности:

$$Y_{ij} = x_i + b_i \times I_j, \quad (3)$$

где, x_i – средняя урожайность i -сорта за годы испытаний, ц/га (т.е. значение x_i равно значению Y_i);

$b_i I_j$ – произведение коэффициента регрессии i -го сорта на индекс условий среды.

Метод S.A. Eberhart and W.A. Russel (1966) основан на расчете двух параметров: коэффициента линейной регрессии (b_i) и дисперсии (σ_d^2). Первый показывает отклик генотипа на улучшение условий выращивания, а второй характеризует стабильность сорта в различных условиях среды [8]. Коэффициент линейной регрессии урожайности (b_i) показывает их реакции на изменение условий выращивания. Он может быть больше или меньше 1, а также быть равным 1. Чем выше значение коэффициента $b_i > 1$, тем большей отзывчивостью обладает данный сорт. В случае $b_i < 1$ сорт реагирует слабее на изменение условий среды. При условии $b_i = 1$ имеется полное соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания [9].

Погодные условия в 2020–2022 гг. на протяжении периодов вегетации имели значительные различия по температурному режиму и влагообеспеченности. Это позволило провести оценку реакции изучаемых селекционных номеров в различных условиях среды.

Температурный режим вегетационного периода за три года был выше

среднемноголетних данных.

В 2020 году в июне выпало осадков в 4,2 раза выше нормы, июль и август соответствовал среднемноголетнему значению,

В 2021 году осадки составляли в пределах среднемноголетнего показателя. Достаточно сухим был 2022 год, осадков в период развития культуры с апреля по июнь выпало 53,3 мм, что на 12,7 мм ниже нормы. В июле осадки были выше среднемноголетнего значения.

Результаты исследований

В селекционном питомнике ломкоколосника ситникового за 2020–2022 гг. изучалось 15 сортообразцов отобранных из питомника исходного материала 2015 года посева. В этом питомнике за три года изучения в сравнении со стандартом Манчаары по кормовой продуктивности выделились четыре номера АС 1, АС 12, АС 14, АС 15.

Фенологические наблюдения показали, что за годы изучения начало весеннего отрастания наблюдалось с 03 мая по 05 мая, при высоте растений 2,7–6,5 см, выход в трубку 7 июня – 10 июня, колошение 28 июня–01 июля, цветение с 20 июля по 23 июля.

По форме побегообразования ломкоколосник относится к низовым злакам, то есть большая часть побегов остается укороченными, и меньшая часть образует генеративные (цветоносные побеги). Основу кормовой массы при ежегодной уборке на сено или при стравливании составляют укороченные вегетативные побеги. Они являются наиболее облиственными, что повышает их кормовую ценность.

По числу вегетативных побегов в сравнении со стандартом Манчаары в 2020 году выделились номера АС 14 и АС 15 от 578,3 шт/м² до 660,3 шт/м²); в 2021–2022 гг. – эти же образцы (от 498,0 шт/м² до 550,0 шт/м²) (табл. 1).

За три года по числу вегетативных побегов достоверная прибавка получена в сравнении со стандартом Манчаары у номеров АС 14 и АС 15.

Таблица 1 – Хозяйственно ценные показатели селекционного питомника (2020 - 2022 гг.)

Селекционный номер	Число вегетативных побегов, шт/м ²			Вес сухого вещества, г/м ²			Высота растений, см			Зимостойкость, %		
	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022	2020	2021	2022
Стандарт Манчаары	329,0	310,0	302,0	33,3	21,6	15,6	25,3	25,0	29,3	86,0	84,0	79,0
АС 1	417,6	400,0	396,0	38,3	25,0	33,7	27,0	28,0	38,3	96,0	90,0	90,0
АС12	341,0	333,0	318,0	12,5	19,6	25,0	28,6	30,0	35,0	88,0	88,0	84,0
АС14	660,3	541,0	519,4	23,0	30,5	39,3	29,3	30,0	36,0	96,8	98,0	96,0
АС15	578,3	550,0	498,0	25,0	16,8	74,6	29,0	28,0	40,0	89,0	95,8	98,1
НСР 0,5	10,8	8,0	7,5	2,5	3,0	3,0	2,4	3,3	2,9	8,0	8,1	6,0

По содержанию сухого вещества, достоверная прибавка по сравнению со стандартом Манчаары в 2020 г. составила у номеров АС 1 – 12,4%; в 2021 г. – АС 1 – 13,6%, АС 14 – 29,1; в 2022 г АС 1 – 53,0% , АС 12 - 37,6%, АС 14 – 60,3%, АС 15 – 79,1%.

Высота травостоя – хозяйственный признак, который служит косвенным показателем кормовой продуктивности. В 2020 году фазу кущения высота четырех образцов составляла 27,0 см–29,3 см, у стандарта 25,3 см; в 2021 г.: 28,0–30,0 см, стандарт 25,0 см, в 2022 году от 35,0 до 40,0 см, стандарт 29,3 см.

Одним из основных биологических свойств, обеспечивающих стабильную урожайность при различных колебаниях температур, является зимостойкость. Высокую зимостойкость в 2020 году показали номера АС1, АС 14 – от 96,0% до 96,8%, стандарт 86%; в 2021 – 2022 гг.: АС 1, АС 14, АС 15 – 90,0-98,0%, стандарт 79-84%.

Урожайность зеленой массы – показатель, характеризующий хозяйственную ценность сорта в конкретных условиях. Он отражает биологические особенности сорта, а также влияние метеорологических, почвенных и агротехнических факторов [10].

В селекционном питомнике образцы АС 1, АС 14, АС 15 достоверно превысили стандарт Манчаары по урожайности зелёной массы в среднем за 3 года (2020–2022 гг.) на 22,3–43,8% (табл. 2).

Таблица 2 – Расчёт индекса условий среды и коэффициента линейной регрессии

Селекционный номер	Средняя урожайность зелёной массы, г/м ²			E _y i	Y _i	b _i	S _i ²
	2020	2021	2023				
St. Манчаары	88,6	39,2	30,0	157,8	52,5	1,4	3935,4
АС 1	90,0	62,8	73,3	226,1	75,3	0,1	383,0
АС 12	30,0	66,1	58,3	154,4	51,4	0,3	684,29
АС 14	43,3	73,3	86,6	189,9	67,6	1,1	531,7
АС 15	56,6	56,1	168,3	281,0	93,1	1,8	59,1
НСР 0,5	2,4	3,7	4,4				
I _j	-6,5	-8,7	15,0				

Оценка взаимодействия генотип – среда даёт нам представление о стабильности и пластичности изучаемых генотипов. Пластичность, то есть способность к изменчивости признаков, а также их стабильность под действием экологических факторов считаются неотъемлемыми и необходимыми свойствами адаптивности [11].

Для вычисления коэффициента линейной регрессии необходимо определить индексы условий среды. Совокупность индексов характеризует изменчивость условий, в которых выращивались сортообразцы. Результаты исследований показали, что наиболее благоприятные условия в селекционном питомнике сложились в 2022 году (+15,0), а худшие условия для роста сортообразцов в 2020 (–6,5) и в 2021 годах (–8,7).

Понятие «пластичность» и «стабильность» использованы при оценке селекционных образцов ломкоколосника ситникового. Из расчёта линейной регрессии (b_i), которая характеризует экологическую пластичность и даёт возможность прогнозировать исследуемый признак. В производственных условиях представляют ценность те номера, у которых $b_i > 1$. В результате исследований высокой отзывчивостью на изменения условий возделывания обладали номера: АС 14 и АС 15 (коэффициент пластичности $b_i = 1,1-1,8$), это номера интенсивного типа, они требовательны к агротехническим мероприятиям и только в этом случае дадут максимальную урожайность. Номера АС 1 и АС 12 экстенсивные: у них слабее реакция на изменения

условий среды ($b_i = 0,1-0,3$). Чем меньше коэффициент Si^2 , тем стабильнее селекционный номер. Из всех изучаемых номеров выделился образец АС 15 ($Si^2=59,1$). На основе расчёта b_i и Si^2 как в благоприятных, так и в неблагоприятных погодных условиях выделился один образец АС 15 ($b_i=1,8$; $Si^2=59,1$), он более отзывчив, стабилен, экологически пластичен.

Установлено, что стрессоустойчивость и способность формировать стабильную продуктивность в неодинаковых условиях среды имели сортообразцы АС 1, АС 12, АС 14 (от $-27,2$ до $-43,3$). При отрицательном значении этот показатель отражает уровень устойчивости сортов к условиям произрастания. Считается, что чем меньше разрыв между этими значениями, тем выше стрессоустойчивость сорта и тем шире интервал его приспособительных возможностей (Левакова, 2019). Самую низкую стрессоустойчивость имел номер АС 15 = $-111,9$ (табл. 3).

Таблица 3 – Параметры адаптивной способности селекционных номеров ломкоколосника ситникового

Селекционный номер	Прирост урожайности ($Y_{\min} - Y_{\max}$)	$Y_1 - Y_2$ (стрессоустойчивость)	$(Y_1 - Y_2)/2$ (генетическая гибкость)
St. Манчаары	30,0 – 88,6	-58,6	59,3
АС 1	62,8 – 90,0	-27,2	76,4
АС 12	30,0 – 66,1	-36,1	48,0
АС 14	43,3 – 86,6	-43,3	64,9
АС 15	56,1 – 168,0	-111,9	112,0

Исследованиями установлено, что наибольшую генетическую гибкость с высоким соответствием между генотипом и факторами среды имели сортообразцы АС 1, АС 15 (76,4-112,0).

Выводы и предложения

В результате оценки выделены селекционные образцы, обладающие высокой урожайностью зеленой массы, пластичностью, стабильностью, генетической гибкостью.

Для формирования урожайности зеленой массы в 2022 году индекс среды составил ($I_j = +15$), отобраны номера АС 14, АС 15, которые

достоверно превысили стандарт Манчаары на 22,3-43,8%. Номера АС 1 и АС 12 экстенсивные ($b_i = 0,1-0,3$). По экологической пластичности (b_i) и стабильности (Si^2) в различных агроэкологических условиях выделился образец АС 15 ($b_i=1,8$; $Si^2=59,1$), он экологически пластичен и стабилен. По стрессоустойчивости и генетической гибкости выделился АС 1 (стрессоустойчивость – -27,2; генетическая гибкость – 76,4).

Библиографический список

1. Неволина, К. Н. Адаптивная способность и стабильность озимых зерновых культур при возделывании в условиях Пермского края / К. Н. Неволина // Аграрная наука. 2015. – № 6. – С.13–15.
2. Мелёхина, Т. С. Экологическая пластичность и стабильность сортов яровой и озимой мягкой пшеницы, озимой ржи по урожайности и качеству зерна в условиях Юга-Востока Западной Сибири: специальность 06.01.05 "Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений, дис. канд. с.-х. наук / Татьяна Сергеевна Мелёхина. – Кемерово, 2015. – 149 с.
3. Косолапов, В. М. Методические указания по селекции многолетних злаковых трав / В. М. Косолапов. – М.: РГАУ – МСХА, 2012. – 53 с.
4. Кадоркина, В. Ф. Особенности биологии и семенная продуктивность биотипов исходного материала ломкоколосника ситникового на юге Средней Сибири / В. Ф. Кадоркина, М. С. Шевцова // Аграрная наука. – 2020 – №6. – С. 70–74.
5. Кадоркина, В. Ф. Фитоценотическая парадигма в селекции ломкоколосника ситникового на юге Средней Сибири / В. Ф. Кадоркина, М. С. Шевцова // Аграрная наука. – 2019. – № 4. – С. 58–61.
6. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – М., 2013. – 349 с.
7. Eberhart, S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russel // Crop Science. – 1966. – Vol. 6, №1. – P. 36–40.
8. Зыкин, В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчёт и анализ: методические рекомендации / В. А. Зыкин, В. В. Мешков, В. А. Сапега. – Новосибирск, 1984. – 24 с.
9. Кадычegov, А. Н. Сортовой потенциал ярового ячменя в степной Юга Средней Сибири / А. Н. Кадычegov, А. Н. Бородыня, Ю. Я. Кавардилов. – Абакан: ФГБОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова». – 2013. – 176 с.
10. Жуков, Ю. П. Баланс питательных веществ как прогнозoэкологический показатель плодородия почв и продуктивности культур / Ю. П. Жуков // Агрохимия. – 1996. – № 7. – С. 35.
11. Тимошкина, О. Ю. Оценка продуктивности и адаптивности сортообразцов клевера ползучего в условиях лесостепи Среднего Поволжья / О. Ю. Тимошкина, О. А. Тимошкина // Кормопроизводство. – 2020. – № 10. – С. 39–43.