

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТИВНОСТИ СОРТООБРАЗЦОВ ЧУМИЗЫ

Е. М. Чирко, Т. В. Гончаревич

РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси»

г. Пружаны, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 225133,

г. Пружаны, ул. Урбановича, 5; e-mail: chirko1968@tut.by)

Ключевые слова: чумиза, экологическое сортоиспытание, стабильность, пластичность, адаптивность.

Аннотация. Приведены результаты анализа показателей стабильности и пластичности по признаку «урожайность зерна» с применением различных параметров оценки на примере результатов экологического сортоиспытания сортов и сортообразцов чумизы. Наиболее полную информацию об адаптивности сортов и сортообразцов дает принцип ранжирования по всем параметрам с последующей оценкой по сумме рангов, полученной каждым методом. Среди набора сортов наиболее ценными как для селекции, так и для производства являются те, которые имеют более высокий средний уровень урожайности и в то же время меньший размах колебаний признака при более высоком нижнем значении интервала варьирования в неблагоприятный год.

EVALUATION OF ECOLOGICAL ADAPTABILITY OF CHUMIZA VARIETIES

E. M. Chirko, T. V. Goncharevich

RUE «Brest RAES of the NAS of Belarus»

Pruz hany, Republic of Belarus (Republic of Belarus, 225133, Pruz hany,

5 Urbanovicha str.; e-mail chirko1968@tut.by)

Key words: chumiza, ecological variety testing, stability, plasticity, adaptability.

Summary. On the example of the results of ecological variety testing of chumiza the analysis of stability and plasticity indices of varieties and varietal samples on the trait 'grain yield' with the use of different evaluation parameters was carried out. The most complete information on the ecological adaptability of varieties and cultivars is given by the principle of ranking by all parameters with subsequent evaluation by the sum of ranks obtained by each method. Among the set of varieties, the most valuable for both breeding and production are those that have a higher average yield level and at the same time a smaller range of fluctuations of the trait with a higher lower value of the variation interval in an unfavourable year.

(Поступила в редакцию 13.06.2025 г.)

Введение. Многолетние исследования, проводимые в нашей республике, свидетельствуют, что чумиза, являясь культурой универсального использования, успешно вписывается в систему полевого кормопроизводства. Особенно это актуально на фоне участвовавших засух в

весенне-летний период. Обладая рядом биологических особенностей, свойственных представителям растений с типом фотосинтеза C_4 , чумиза имеет преимущества перед другими однолетними кормовыми культурами в условиях недостатка влаги, обеспечивая гарантированное получение зеленых кормов в летний период. Для кормовых культур наряду с высоким кормовым потенциалом важное значение имеет и семенная продуктивность. Экологическое сортоиспытание селекционного материала в конкретных почвенно-климатических условиях дает возможность выявления изменчивости признаков генотипов и проведения целенаправленной селекционной работы с культурой, прежде всего создание сортов, сочетающих в себе достаточно высокую кормовую продуктивность и стабильность при получении семян. Проблема соотношения потенциальной продуктивности и экологической устойчивости сортов приобретает все большее теоретическое и практическое значение.

Понятие адаптивности включает в себя широкий спектр определений, главными из которых являются экологическая пластичность, экологическая стабильность и гомеостатичность генотипа. Степень проявления их зависит от взаимодействия генотип-среда (ВГС) [1]. В научной литературе широко обсуждаются различные аспекты ВГС и методы его оценки, в т. ч. в связи с проблемами экологической селекции [2, 3]. Стабильность и пластичность признака являются двумя противоположными сторонами модификационной изменчивости генотипа, т. е. генотип не может быть одновременно стабильным и пластичным по изучаемому признаку. При этом стабильность в проявлении одного признака может сочетаться с пластичностью в проявлении другого [4].

В соответствии с большим практическим значением определения адаптивности создаваемых сортов и гибридов возрастает количество публикаций по этой теме. При этом зачастую наблюдаются различия как в принципах и методах оценок пластичности и стабильности, так и в биологической интерпретации значений вычисляемых параметров, что вызывает некоторое затруднение и сомнение при выборе методов оценок.

Все большее распространение получает оценка сортов с использованием нескольких методик с последующим их ранжированием по сумме рангов, полученной каждым методом, поскольку оценка одним или двумя методами недостаточно полно отражает пластичность и стабильность генотипов. В то же время применение большого количества методов оценки адаптивности может дать противоположные результаты. В этом случае оценка по сумме рангов позволяет в некоторой степени нивелировать возникающую противоречивость полученных результатов [5, 6, 7].

Цель исследований – оценка адаптивности сортов и сортообразцов по признаку «урожайность зерна» с применением различных показателей пластичности и стабильности на примере результатов экологического сортоиспытания чумизы.

Материал и методика исследований. Полевые исследования проводились на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве опытных полей РУП «Брестская ОСХОС НАН Беларуси» в 2021-2023 гг. Объектом исследований являлись сорта и сортообразцы чумизы.

Учитываемый признак – урожайность зерна. Данные подвержены статистической обработке дисперсионным методом [8]. Индексы условий среды рассчитаны по методике Эберхарта и Рассела в изложении В. А. Зыкина [9], селекционная ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину [10], фактор стабильности (SF) – по D. Lewis [11], Коэффициент адаптивности (KA) – по Л. А. Животкову [12]. Размах урожайности (d) – по В. А. Зыкину [13]. Устойчивость сортов к стрессу и среднюю урожайность в контрастных условиях рассчитывали по уравнениям Россили и Хемблина в изложении А. А. Гончаренко [14]. Год с максимальным проявлением изучаемого признака и с самым высоким уровнем индекса среды (I) принят в оценках урожайности как (Y_{\max}), с минимальным проявлением и с наименьшим значением индекса среды (Y_{\min}).

В годы исследований на протяжении вегетационного периода наблюдались различия по температурному режиму и по количеству выпавших осадков. Учитывая количество выпавших осадков и сумму активных температур (1925°C и 360 мм), 2021 год характеризуется как избыточно влажный, о чем свидетельствует величина ГТК – $1,9$. Исходя из величины ГТК 2022 и 2023 гг. ($1,0$ и $1,1$ соответственно) данные вегетационные периоды следует отнести к категории слабо-засушливых. Сумма активных температур в эти годы составила 1900°C , однако количество осадков было значительно меньше, чем в 2021 году, – 198 и 203 мм соответственно.

Результаты исследований и их обсуждение. Сравнительная оценка сортообразцов по адаптивности правомерна лишь в том случае, когда доказана значимость влияния экологических условий на проявление признака. Согласно результатам дисперсионного анализа двух-факторного опыта установлено достоверное влияние на урожайность зерна чумизы факторов «год (A)», «сорт (B)», а также их взаимодействия (таблица 1). Это свидетельствует о том, что сорта по-разному реагируют на изменение климатических условий. При этом большая часть изменчивости ($77,6\%$) обусловлена влиянием метеорологических условий вегетационного периода.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа двухфакторного опыта экологического испытания чумизы по признаку «урожайность зерна» (2021-2023 гг.)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	Средний квадрат	F_{ϕ}	F_{05}
Общая	6739,9	83	-	-	-
Повторения	16,6	3	-	-	-
Год (А)	5231,8	2	2615,9	716,7	3,18
Сорт (В)	340,9	6	56,8	15,6	2,29
Взаимодействие (АВ)	931,4	12	77,6	21,3	1,95
Остаток	219,1	60	3,65	-	-

Влияние сорта было достоверным, но проявлялось в значительно меньшей мере и составляло 5,3 %. Взаимодействие между факторами также достоверно и составляет 13,3 %, что позволяет провести расчет параметров экологической пластичности.

Исследования показали, что для чумизы характерна высокая вариабельность урожайности зерна по годам, обуславливаемая погодными условиями конкретного вегетационного периода. За годы исследований зерновая продуктивность изучаемых сортообразцов варьировала от 11,0 до 38,2 ц/га (таблица 2).

Таблица 2 – Урожайность сортов и сортообразцов чумизы (2021-2023 гг.)

Сорт, сортообразец	Урожайность, ц/га			
	2021	2022	2023	Ср.
Золушка (st)	11,3	31,5	23,0	21,9
Красуня	13,6	38,2	24,9	25,6
Si 57/131	12,2	26,0	23,8	20,7
Si 67/82	11,0	31,2	34,0	25,4
Стрела 189	15,4	32,3	20,7	22,8
Красная стрела	15,0	28,6	34,6	26,1
Si 57/123	11,0	33,6	20,8	21,8
НСР ₀₅	2,2	2,7	4,2	x
Среднесортная урожайность	12,8	31,6	26,0	23,5
Индекс среды (I_i)	-10,7	8,1	2,5	x

В 2021 году, который характеризовался отрицательным индексом среды ($I_i = -10,7$), среднесортная урожайность чумизы не превысила уровень 13,0 ц/га. В благоприятном 2022 году ($I_i = 8,1$) более ярко проявились потенциальные возможности анализируемых сортообразцов, при этом средняя урожайность изучаемого набора образцов чумизы составила 31,6 ц/га. По уровню средней урожайности за три года испытаний самой высокой урожайностью характеризовались сорта Красуня, Красная стрела и сортообразец Si 67/82.

Между тем, как показывает научный и практический опыт, оценка сортов и сортообразцов лишь по средней урожайности не объективна и не обеспечивает выявления всех их достоинств и недостатков и требует дополнительных критериев оценки [15-17].

В научной практике довольно широко распространена методика оценки пластичности и стабильности генотипов по методу Эберхарта и Рассела в изложении В. А. Зыкина [9]. Пластичность сорта в данном случае оценивается двумя показателями: коэффициентом регрессии (b_i), который отражает реакцию сорта на изменение условий среды и среднему квадратичному отклонению от линии регрессии (S_d^2), характеризующему стабильность урожайности. Данный метод при своей универсальности и широком применении имеет ряд недостатков. К недостаткам следует отнести трудоемкость, необходимость большого набора сортов в испытании, зависимость от среднего значения признака. Кроме этого, недостатком данной методики является низкая статистическая значимость коэффициентов регрессии при небольшом числе лет (пунктов) испытания [18, 19]. Отсутствие достоверных связей урожайности с (b_i) и (S_d^2) говорит о том, что данные показатели являются в большей степени теоретическими [5].

Для расчета ряда показателей, которые применяются для оценки пластичности и стабильности генотипов, в качестве вспомогательных величин используются дисперсия или среднеквадратичное отклонение. К ним относятся показатель относительной стабильности (S_i^2) и средняя стабильная урожайность (A) по Н. А. Соболеву [19], дисперсия (σ^2) и вариационный коэффициент (V) [8], индекс стабильности (ИС), показатель уровня и стабильности урожайности сорта (ПУСС) по Э. Д. Нетевичу [18], гомеостатичность (Hom) по В. В. Хангильдину [10].

Нами для оценки адаптивности сортов применены показатели, расчет которых производится на основе урожайных данных без применения дисперсионного и регрессионного анализов (таблица 3).

Разница между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_{\min} - Y_{\max}$) выражает степени устойчивости сорта к неблагоприятным факторам среды и также используется при экологическом сортоиспытании как один из показателей, характеризующий адаптивность [14].

Таблица 3 – Оценка адаптивности сортов и сортообразцов чумизы по величине зерновой продуктивности (2021-2023 гг.)

Сорт, сортообразец	\bar{x} , ц/га	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\max} + Y_{\min}) / 2$	d, %	(KA)	SF	S_c
1	2	3	4	5	6	7	8
Золушка (st)	21,9	-20,2	21,4	64,1	0,93	2,79	7,86
Красуня	25,6	-24,6	25,9	64,4	1,09	2,81	9,11
Si 57/131	20,7	-13,8	19,1	53,1	0,88	2,13	9,71

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Si 67/82	25,4	-20,2	21,1	67,6	1,08	3,09	8,21
Стрела 189	22,8	-16,2	23,9	52,3	0,97	2,10	10,8
Красная стрела	26,1	-13,6	21,8	56,6	1,11	2,31	11,32
Si 57/123	21,8	-22,6	22,3	67,3	0,93	3,05	7,14

Этот показатель имеет отрицательное значение, чем меньше его величина, тем стрессоустойчивость сорта выше. Наибольшей стрессоустойчивостью отмечены сортообразцы Si 57/131, Стрела 189 и Красная Стрела. Средняя урожайность сорта в контрастных условиях $(Y_{\max} + Y_{\min}) / 2$ дает представление о генетической гибкости сорта. Высокие значения данной величины свидетельствуют о соответствии между генотипом сорта и условиями окружающей среды. Из изученного набора сортообразцов самый высокий уровень средней урожайности в контрастных условиях получен у сортообразца Si 57/131. На уровне стандарта компенсаторной способностью отмечены сортообразцы Si 67/82 и Красная стрела.

По мнению Зыкина В. А., в ходе экологического исследования надлежит использовать параметр «размах урожайности (d)», который позволяет определить уровень стабильности сортов, выраженный в процентах [11]. Наименьший размах урожайности (52,3-56,6 %) имели сортообразцы Стрела 189, Si 57/131 и Красная стрела.

Животковым Л. А. для оценки экологической устойчивости сортов предложен коэффициент адаптивности (КА), который рассчитывается, как отношение урожайности каждого сорта к среднесортовой в опыте [13]. При этом цифровое значение данного показателя может выражаться в процентах (долевое участие) либо как относительная величина (коэффициент адаптивности). В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность реализуется слабо, а адаптивность, наоборот, более ярко. В наших исследованиях коэффициент адаптивности варьировал в пределах от 0,88 до 1,11. Три сорта имели величину (КА) больше единицы, что указывает на их высокую степень адаптивности.

Фактор стабильности (SF), рассчитываемый как отношение наибольшей урожайности к наименьшей, характеризует фенотипическую стабильность генотипа и является важной адаптивной характеристикой [12]. Чем выше значение (SF), тем сорт менее стабилен. К наиболее устойчивыми по фенотипу следует отнести Стрела 189 (SF = 2,10) и Si 57/131 (SF = 2,13).

Показатель селекционная ценность сорта (Sc) также широко используется при оценке адаптивности сортов. Хангильдин В. В. рекомендовал в практической селекции использовать (Sc), тогда как (Hom)

более пригоден в генетических исследованиях [10]. Селекционная ценность генотипа (S_c) является величиной, сочетающей в себе уровень продуктивности и адаптивные свойства. Чем выше данный показатель, тем большую селекционную ценность имеет генотип. В наших исследованиях изученные сортообразцы, за исключением Si 57/123, по селекционной ценности превосходили стандарт.

Для итоговой оценки адаптивного потенциала сортов наряду с одновременным использованием нескольких методик целесообразно применять систему суммы рангов. В таблице 4 отображено ранжирование сортообразцов чумизы по показателям оценок зерновой продуктивности и адаптивности.

Таблица 4 – Ранжирование сортов и сортообразцов чумизы по показателям оценок зерновой продуктивности (2021–2023 гг.)

Показатели	Золушка (st)	Красуня	Si 57/131	Si 67/82	Стрела 189	Красная стрела	Si 57/123
\bar{x} , ц/га	5	2	7	3	4	1	6
$Y_{\min} - Y_{\max}$	4	6	2	4	3	1	5
$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$	5	1	7	6	2	4	3
d, %	4	5	2	7	1	3	6
(KA)	5	2	6	3	4	1	5
Sc	6	4	3	5	2	1	7
SF	4	5	2	7	1	3	6
Сумма ранга	33	25	29	35	17	14	38
Место сорта	5	3	4	6	2	1	7

Чем меньше сумма рангов, тем сорта считаются более адаптивными. Как видно из данных таблицы, самыми приспособленными к условиям региона являются сортообразцы Стрела 189 и Красная стрела. Сортообразец Si 57/123 занимает последнее место по суммам рангов. Итоги ранжирования сортов по показателям оценок зерновой продуктивности дают основание утверждать, что некоторые показатели совпадают между собой по результатам, в частности размах урожайности (d) и фактор стабильности (SF).

Заключение. Всесторонняя оценка адаптивности сортов и сортообразцов чумизы позволила установить, что сортообразцы Стрела 189 и Красная стрела в наибольшей степени проявляют способность к формированию стабильной урожайности в контрастных погодных условиях региона.

При оценке адаптивного потенциала сортообразцов в экологическом испытании по признаку «урожайность зерна» система оценок должна включать в себя такие показатели, как стрессоустойчивость,

уровень средней урожайности в контрастных условиях, коэффициент адаптивности, размах урожайности и селекционную ценность.

Наиболее полную информацию о пластичности и стабильности сортов дает принцип ранжирования по всем параметрам с последующей оценкой по сумме рангов, полученной каждым методом.

Среди набора сортов наиболее ценными как для селекции, так и для производства будут те, которые имеют более высокий средний уровень урожайности и в то же время меньший размах колебаний признака при более высоком нижнем значении интервала варьирования в неблагоприятный год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зыкин, В. А. Экологическая пластичность сортов яровой мягкой пшеницы / В. А. Зыкин // Теоретические основы селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур в Западной Сибири: сб. науч. тр. – Новосибирск, 1985. – С. 9-12.
2. Кильчевский, А. В. Основные направления экологической селекции растений / А. В. Кильчевский // Селекция и семеноводство. – 1993. – №3. – С. 5-9.
3. Рыбась, И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) / И. А. Рыбась // Сельскохозяйственная биология, 2016. – Том 51. – №5. – С. 617-626.
4. Кильчевский, А. В. Генетические основы селекции растений. В 4 т. Т. 1. Общая генетика растений [Электронный ресурс] / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Беларуская навука, 2014. – 552 с. – ISBN 978-985-08-1791-4. – Режим доступа: <https://ibooks.ru/bookshelf/343206/reading>. – Дата доступа: 05.12.2024.
5. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по экологической устойчивости в условиях Кировской области / Н. А. Набатова [и др.] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2022. – №23 (5). – С. 655-665.
6. Волкова, Л. В. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур / Л. В. Волкова, И. Н. Щенникова // Теоретическая и прикладная экология. – 2020. – №3. – С. 140-146.
7. Сафонова, И. В. Уровень качества зерна и и дифференциация образцов озимой ржи по адаптивной способности в Северо-Западном федеральном округе / И. В. Сафонова, Н. И. Анискова // Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24. №10. – С. 1289-1301.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
9. Зыкин, В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ / В. А. Зыкин, В. В. Мешков, В. А. Сапега // Метод. рек. – Новосибирск: Сиб. отд. ВАСХНИЛ. – 1984. – 24 с.
10. Хангильдин, В. В. Гомеостаз компонентов урожая зерна и предпосылки к созданию модели сорта яровой пшеницы / В. В. Хангильдин, И. Ф. Шаяхметов, А. Г. Мардамшин // Генетический анализ количественных признаков растений. – Уфа, 1979. – С. 5-39.
11. Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы / В. А. Зыкин [и др.] // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2000. – №2. – С. 5-7.
12. Lewis, D. Geneenvironment interaction: A relationship between dominance, heterosis, Phenotip stability and variability / Heredity. 1954. – С. 333-356.
13. Животков, Л. А. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеница по показателю «урожайности» / Л. А. Животков, З. А. Морозова, Л. И. Секатуева // Селекция и семеноводство. – 1994. – №2. – С. 3-6.
14. Гончаренко, А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур / А. А. Гончаренко // Вестник РАСХН. – 2005. – №6. – С. 49-53.

15. Литун, П. П. Взаимодействие генотип-среда в генетических и селекционных исследованиях и способы его изучения / П. П. Литун // Проблемы отбора и оценки селекционного материала: сб. науч. тр. – Киев, 1980. – С. 63-92.
16. Лопатина, Л. М. Планирование экологических испытаний и оценка пластичности сортов и гибридов с помощью регрессионных моделей / Л. М. Лопатина // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1986. – №5. – С. 71-75.
17. Гончаренко, А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур / А. А. Гончаренко // Вестник РАСХН. – 2005. – №6. – С. 49-53.
18. Неттевич, Э. Д. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качество зерна / Э. Д. Неттевич, А. И. Моргунов, М. И. Максименко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 1. – С. 66-73.
19. Соболев, Н. А. Методика оценки экологической стабильности сортов и генотипов / Н. А. Соболев // Проблемы отбора и оценки селекционного материала: сб. науч. тр. – Киев, 1980. – С. 100-106.

УДК 632.954:633.853.494(476)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕРБИЦИДА КОНВИЗО 1, МД В КОНТРОЛЕ ПАДАЛИЦЫ РАПСА КЛАССИЧЕСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

Е. А. Шкраба¹, Н. А. Лукьянюк²

¹ – РУП «Опытная научная станция по сахарной свекле»

г. Несвиж, Республика Беларусь (Республика Беларусь, 222603,

г. Несвиж, ул. Озерная, 1);

² – КВС ЗААТ СЕ в Республике Беларусь

г. Минск, Республика Беларусь (Республика Беларусь, г. Минск,

ул. Немига, 5)

Ключевые слова: сахарная свекла, падалица рапса, гербициды, корнеплоды, урожайность, технологические качества.

Аннотация. В статье представлены результаты двухлетних исследований по изучению биологической и хозяйственной эффективности гербицида Конвизо 1, МД (форамсульфурон, 50 г/л; тиенкарбазон-метил, 30 г/л) в отношении падалицы рапса классических гибридов и сортов в посевах сахарной свеклы. В опыте оценивались различные комбинации норм расхода гербицида при внесении его двукратно. Выявлено, что использование Конвизо 1, МД является эффективным приемом контроля данного засорителя, обеспечивая его 100%-ю гибель. В среднем за 2 года применение гербицида обеспечило получение урожая корнеплодов в пределах 55,9-57,4 т/га, что на 10,9-12,4 т/га выше, чем в эталонном варианте с применением классической системы защиты сахарной свеклы.