

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ СОРТОВ ОЗИМОЙ ТРИТИКАЛЕ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ — АЛАНИЯ

И. Р. Манукян, кандидат биологических наук

Т. С. Абиева, кандидат биологических наук

Н. Н. Догузова

Северо-Кавказский НИИ горного и предгорного сельского хозяйства – филиал ФГБНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», с. Михайловское, РСО–Алания, Россия, doguzovanino@yandex.ru

Представлены результаты исследований по выявлению наиболее адаптированных к почвенно-климатическим условиям предгорной зоны Центрального Кавказа сортов озимой тритикале. Исследования проведены в 2019–2021 гг. на полях СКНИИГПСХ ВНЦ РАН на восьми сортообразцах: ТГИ 24/1 (Россия), Алмаз (Россия), Капрал (Россия), Moderato (Польша), Hortenso (Польша), Grenado (Польша), Гор (Россия), Князь (Россия). Для комплексной оценки и отбора ценного исходного материала при селекции на адаптивность использовали набор методик, позволяющих установить достоверность наблюдаемых различий и получить необходимую информацию о потенциальной продуктивности и экологической пластичности. Наибольшей экологической пластичностью характеризовались сорта Гор (bi) = 0,7, Hortenso и Grenado (bi) = 0,6. По коэффициенту стабильности в различных условиях вегетации лучшим оказался сорт Moderato и ТГИ 24/1 ($S2d$) = 0,01. Сорта Гор, Hortenso и Grenado сформировали наибольшую среднюю за три года продуктивность колоса, которая составила соответственно 3,6 и 3,3 г/колос. Была определена доля отдельных факторов в формировании урожайности. Влияние условий вегетации составило 3,1 %, сортовых особенностей — 54,1 %. Высокая устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды установлена у сорта Moderato, максимальное соответствие условиям среды региона — у сортов Гор (3,6), Hortenso (3,3) и Grenado (2,8). Высокая устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды установлена у сортов Гор, Hortenso и Grenado, высокой стабильностью продуктивности характеризуются сортообразцы Moderato и ТГИ 24/1. У выделившихся в опыте сортообразцов индекс продуктивности растений (ИПР) составил: 19,6, 16,4, 18,4, 15,0, 11,1 соответственно, что по классификационной таблице соответствует высокой продуктивности. У сортообразцов Алмаз, Капрал, и ТГИ 24/1 показатели ИПР (10,0; 9,8; 10,6) соответствовали средней продуктивности озимой тритикале. Лучшие сортообразцы будут использованы в селекционных программах при создании сортов озимой тритикале для предгорной зоны Центрального Кавказа.

Ключевые слова: озимая тритикале, урожайность, адаптивность, устойчивость к стрессу, индексы условий среды, экологическая пластичность, стабильность.

Введение. Одним из путей увеличения производства высококачественного продовольственного и кормового зерна тритикале является

более эффективное использование генетического потенциала культуры. Определяя значение различных факторов роста урожайности, на первое место ставят создание сортов, пластичных, со стабильной урожайностью, соответствующих экологическим условиям региона, то есть адаптированных [6; 7; 8]. Такие сорта должны обеспечивать высокую урожайность в благоприятных условиях и стабильную — в стрессовых ситуациях [1; 5]. Реализация программы создания адаптивных сортов на каждом этапе селекционного процесса сопровождается целенаправленным подбором исходного селекционного материала и комплексной оценкой по главным хозяйственно ценным признакам [9].

Адаптивные сорта должны обладать экологической пластичностью, то есть способностью в широком диапазоне почвенно-климатических условий формировать продуктивность, близкую к потенциальной, обладать устойчивостью к болезням и повреждениям вредителями [16; 17]. В связи с этим, для селекции актуален поиск методов, по которым наиболее полно и объективно можно осуществлять отбор высокопродуктивных и адаптивных генотипов растений [13].

Разработано много методических подходов к оценке адаптивности сортов сельскохозяйственных культур [18; 19]. Большая часть из них основана на дисперсионном и регрессионном анализе продуктивности, полученной в различных условиях (почвенно-климатических, технологических и др.). При изучении селекционного материала и новых сортов в разные годы можно получить информацию о пластичности, которая показывает особенности реакции генотипа на изменение климатических условий. Если показатель урожайности сортов различается по годам, значит есть взаимодействие «сорт – условия года», эффект которого может быть проанализирован как дисперсионный комплекс. Показатели степени реакции генотипов на изменение условий среды характеризуют свойства сорта, его стрессоустойчивость, генетическую гибкость и гомеостатичность [13].

Целью исследования являлось изучение продуктивности и экологической пластичности различных сортов озимой тритикале в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа.

Методы и материалы. Исследования проводились в 2019–2021 гг. в отделе селекционных технологий и первичного семеноводства сельскохозяйственных культур СКНИИГПСХ ВНЦ РАН. В опыте использовались сортообразцы различного эколого-географического происхождения: ТГИ 24/1 (Россия), Алмаз (Россия), Капрал (Россия), Moderato (Польша), Hortenso (Польша), Grenado (Польша), Гор (Россия), Князь (Россия). За стандарт взят сорт озимой тритикале Князь, районированный по северокавказскому региону.

Для оценки адаптивных свойств сортообразцов озимой тритикале были использованы методы S. A. Eberhart, W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина, Л. М. Лопатиной и др. [14; 15], по которым рассчитывали коэффициент линейной регрессии (b_i), или коэффициент пластичности, а также дисперсию (S^2_i) или вариансу стабильности [3]. Устойчивость сортов к стрессу ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетическую гибкость ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) определяли по А. А. Rossielle, J. Hemblin в изложении А. А. Гончаренко [2]. Определяли: $ИПР = (ЧЗ \times ВЗ) / ДК$, где: ЧЗ — число зерен, шт.; ВЗ — вес зерна с колоса, г; ДК — длина колоса, см [10; 11; 12], как показатель высокоурожайных сортов. По методике Л. А. Животкова с соавторами вычисляли коэффициент адаптивности (КА). Согласно этой методике, для анализа продуктивного и адаптивного потенциала используется показатель среднесортowej урожайности. Коэффициент адаптивности выражает общую норму реакции определенной совокупности сортов на факторы внешней среды в каждом конкретном году. Реакцию же отдельного сорта на сложившиеся конкретные условия вегетационного периода определяют как соотношение его урожайности со среднесортowej. Если рассчитанные показатели КА превышают 100 %, то такой сорт считается потенциально высокопродуктивным. В неблагоприятных условиях потенциальная продуктивность реализуется слабо.

Результаты исследований. Дисперсионный анализ показал наличие взаимодействия «генотип–среда» для всей совокупности изучаемых сортообразцов. Вклад в общую изменчивость продуктивности принадлежит генотипам изучаемых сортов (фактор А — «сорт»), их доля составила 54,1 %. Доля изменчивости, вызванная влиянием условий среды (фактор В — «год»), составила 3,1 % (табл. 1).

1. Дисперсионный анализ продуктивности главного колоса сортообразцов озимой тритикале

Дисперсия	Сумма квадратов отклонений	Число степеней свободы	Дисперсия, % (σ^2)	Доля вклада факторов, %	Отклонение дисперсии (F)	
					Fф	Fт (P = 0,95)
Общая	11,1	23	—	—	—	—
Фактор В (год)	0,54	2	—	3,1	—	—
Фактор А (сорт)	6,0	7	0,85	54,1	2,8	2,7
Случайное (остаточное)	4,76	16	0,3	42,8	—	—

Неблагоприятные условия для роста и развития тритикале сложились в 2019 г. (табл. 2). Наиболее благоприятными были условия вегетации в 2020 г., средняя продуктивность колоса на 0,1 г выше общей средней по сортообразцам за все годы.

2. Средняя урожайность и параметры адаптивности сортотипов озимой тритикале

Сорт	Урожайность, г/колос			Среднее, Xi	Показатели адаптивности			
	Годы				КА, %	Ymin – Ymax	Ymax + Ymin)/2	V, %
	2018	2019	2020					
ТГИ 24/1	1,5	2,1	1,5	1,7	64,6	–0,6	1,8	5,9
Алмаз	1,6	2,0	2,1	1,9	72,2	–0,5	1,8	21,0
Капрал	2,4	2,4	1,7	2,2	83,6	–0,7	2,0	27,2
Moderato	2,3	2,3	2,2	2,3	87,4	–0,1	2,2	4,3
Hortenso	3,1	2,9	3,8	3,3	125,5	–0,9	3,3	30,3
Grenado	3,5	3,5	3,8	3,6	114,1	–1,4	2,8	11,1
Гор	3,3	3,4	4,0	3,6	136,8	–0,7	3,6	16,7
Князь, стандарт	2,5	2,3	2,8	2,6	100,0	–0,5	2,6	19,2
Среднее, Xj	2,5	2,6	2,7	2,6	—	—	—	—
Индекс условий, lj	–0,15	0,05	0,15	—	—	—	—	—

Для получения объективной информации об адаптивности изучаемых образцов рассчитали КА. По полученному коэффициенту можно судить о потенциале продуктивности изучаемых сортотипов. В наших исследованиях КА варьировал от 64,6 до 136,8 %. Высокоурожайными (превышающими 100 %) и адаптивными оказались сортотипы: Hortenso (125,5 %), Grenado (114,1 %), Гор (136,8 %), самый низкий показатель КА у сортотипа ТГИ 24/1 (64,6 %).

У сортотипов Капрал, Алмаз и Hortenso высокий коэффициент вариации (V), он составил 21,0–30,3 %. Низкий коэффициент вариации у сортотипов ТГИ 24/1 (5,9) и Moderato (4,3) (табл. 2).

Параметры (Ymax + Ymin)/2 показывают степень варьирования продуктивности по годам. Они отражают среднюю урожайность сорта в контрастных условиях и характеризуют генетическую гибкость и компенсаторную возможность. Чем выше степень соответствия между генотипом и факторами среды, тем выше этот показатель. Сортотипы Гор, Hortenso и Grenado обладают большим генетическим потенциалом. У них показатель (Ymax + Ymin)/2 составил 3,6, 3,3 и 2,8 соответственно, что значительно выше, чем у стандартного сорта Князь. Другой показатель адаптивности — разница между урожайностью (Ymin – Ymax), характеризует уровень устойчивости сортов к стрессовым условиям. Чем меньше разрыв между значениями, тем шире диапазон его приспособительных возможностей. Высокий уровень приспособительных возможностей показали сортотипы Moderato и Алмаз, разница между

минимальным и максимальным показателями продуктивности колоса составила 0,1–0,5 г. Эти же сортообразцы имели самые низкие показатели $(U_{\max} + U_{\min})/2 - 1,8$.

Высокие показатели $(U_{\max} + U_{\min})/2$ у сортообразцов Гор — 3,6; Hortenso — 3,3 и Grenado — 2,8. Превышение по сравнению со стандартом — на 0,2–1,0 г.

По совокупности анализируемых параметров, высокий адаптивный потенциал выявлен у образцов Гор, Hortenso, Grenado и Moderato.

Урожайность является важнейшим показателем при оценке параметров экологической пластичности и стабильности сорта, позволяет судить об отзывчивости его на улучшение или ухудшение условий.

Для дальнейшего определения экологической пластичности и стабильности вычисляли теоретическую урожайность и ее отклонения по годам (табл. 3, 4).

3. Теоретическая урожайность сортообразцов озимой тритикале

Сорт	Годы			Среднее, теоретическое
	2018	2019	2020	
ТГИ 24/1	1,6	2,1	1,5	1,7
Алмаз	2,0	2,0	2,0	2,0
Капрал	2,2	2,2	2,2	2,2
Moderato	2,3	2,3	2,3	2,3
Hortenso	3,4	3,3	3,2	3,3
Grenado	3,7	3,6	3,5	3,6
Гор	3,7	3,6	3,5	3,6
Князь, стандарт	2,7	2,6	2,5	2,6

Небольшие отклонения в урожайности отмечены у сортообразцов Moderato, ТГИ 24/1 от –0,1 до 0 соответственно. У стандартного сорта Князь показатель варьирует от 0,4 до –0,3. Наибольшее варьирование характерно для образцов Гор, Hortenso, Grenado (табл. 4). Биологическую возможность сорта приспособляться к условиям среды обитания характеризует экологическая пластичность (ЭП). Основными показателями ЭП являются коэффициенты пластичности (b_i) и стабильности (S^2_i). По результатам проведенных исследований наиболее отзывчивы на изменения условий среды сортообразцы Гор, Hortenso и Grenado.

У выделившихся сортообразцов ИПР составили 19,6, 16,4, 18,4, 15,0, 11,1 соответственно, что по классификационной таблице соответствует высокой продуктивности (табл. 5).

У сортообразцов Алмаз, Капрал, и ТГИ 24/1 показатели ИПР (10,0, 9,8, 10,6) соответствовали средней продуктивности озимой тритикале.

4. Отклонения фактической урожайности, параметры пластичности и стабильности сортообразцов озимой тритикале

Сорт	Годы			S^2i	ИПР	b_i	Характеристика сорта
	2018	2019	2020				
ТГИ 24/1	–0,1	0	0	0,01	10,0	0,3	Средняя пластичность, высокая стабильность урожая
Алмаз	–0,4	0	0,1	0,2	9,8	0,4	Средняя пластичность и стабильность урожая
Капрал	0,2	0,2	–0,5	0,33	10,6	0,02	Низкая пластичность и средняя стабильность урожая
Moderato	0	0	–0,1	0,01	15,0	0,25	Средняя отзывчивость, высокая стабильность урожая
Hortenso	–0,3	–0,4	0,6	0,6	16,4	0,6	Высокая пластичность, низкая стабильность урожая
Grenado	–0,2	–0,1	0,3	0,14	18,4	0,6	Высокая пластичность, низкая стабильность урожая
Гор	–0,4	–0,2	0,5	0,4	19,6	0,7	Высокая пластичность и низкая стабильность урожая
Князь, стандарт	–0,2	–0,3	0,4	0,3	11,1	0,4	Средняя пластичность и стабильность урожая

5. Классификация сортообразцов озимой тритикале по адаптивности и ИПР

Классификация	Продуктивность, кг/м ²	Масса зерна колоса, г	ИПР
Низкая продуктивность	до 0,7	до 2,0	до 7,0
Средняя продуктивность	0,7–1,0	2,0–3,0	7,0–11,0
Высокая продуктивность	>1,0	>3,0	>11,0

Выводы. Таким образом, проведена оценка количественных признаков на адаптивные свойства сорта с использованием уже известных селекционных индексов, а также нового селекционного индекса — ИПР. Анализ адаптивного потенциала, экологической пластичности и стабильности сортов озимой тритикале позволил выделить наиболее адаптивные сорта для агроэкологических условий предгорной зоны Центрального Кавказа. Высокая устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды установлена у сортов Гор, Hortenso и Grenado, высокой стабильностью продуктивности характеризуются сортообразцы Moderato и ТГИ 24/1.

Литература

1. Вертий Н. С. Селекционные индексы в оценке ячменно-пшеничных гибридов // Нива Поволжья. – 2016. – № 2 (39) – С. 9–15.
2. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 изд., перераб. и доп. – М. : Альянс, – 2014. – 351 с.
4. Животков Л. А., Морозова З. Н, Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «Урожайность» // Селекция и семеноводство. – 1994. – № 2. – С. 3–6.
5. Зыкин В. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ : методические рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1984. – 24 с.
6. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Новые сорта кормовых культур и технологии для сельского хозяйства России // Кормопроизводство. – 2021. – № 6. – С. 22–26.
7. Косолапов В. М., Чернявских В. И., Костенко С. И. Развитие современной селекции и семеноводства кормовых культур в России // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2021. – Т. 25. – № 4. – С. 401–407.
8. Косолапов В. М., Чернявских В. И. Кормопроизводство: состояние, проблемы и роль ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса» в их решении // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36. – № 4. – С. 5–14.
9. Кшникаткина А. Н., Коваленко А. В. Основные факторы продуктивности озимого тритикале // Нива Поволжья. – 2009. – № 3 (12). – С. 73–79.
10. Оценка экологической пластичности сортов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа / И. Р. Манукян, М. А. Басиева, Е. С. Мирошникова, В. Б. Абиев // Аграрный вестник Урала. – 2019. – № 4 (183). – С. 20–26.
11. Оценка продуктивности селекционных образцов озимой пшеницы в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа / И. Р. Манукян, М. А. Басиева, Е. С. Мирошникова, В. Б. Абиев // Нива Поволжья. – 2018. – № 4. – С. 78–83.
12. Использование нового индекса продуктивности растений для оценки селекционного материала озимой пшеницы / И. Р. Манукян, М. А. Басиева, Е. С. Мирошникова, В. Б. Абиев // Нива Поволжья. – 2019. – № 2 (51). – С. 47–52.
13. Назранов Х. М., Нагудова Ф. Х., Калмыков А. М. Комплексная оценка адаптивного потенциала озимого тритикале в условиях вертикальной зональности центральной части Северного Кавказа // Вестник КрасГАУ. – 2011. – № 11. – С. 71–75.
14. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. – 1984. – № 4. – С. 109–113.
15. Удачин Р. А., Головченко А. П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // Селекция и семеноводство. – 1990. – № 5. – С. 2–6.
16. Чернявских В. И. Продуктивность бобовых трав и их травосмесей со злаками на черноземе карбонатном эродированном в условиях юго-запада ЦЧР // Кормопроизводство. – 2009. – № 9. – С. 16–19.

17. Чернявских В. И. Продуктивность бобово-злаковых травосмесей и эффективность их возделывания на склоновых землях юго-запада ЦЧЗ // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 7. – С. 42–45.
18. Опыт селекции и семеноводства люцерны и других трав в ЗАО «Краснояржская зерновая компания» / В. И. Чернявских, А. Г. Титовский, Р. А. Шарко [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 14–17.
19. Чернявских В. И. Рекуррентная селекция как основа повышения продуктивности люцерны в Центрально-Черноземном регионе // Кормопроизводство. – 2016. – № 12. – С. 40–44.

ECOLOGICAL PLASTICITY OF WINTER TRITICALE VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA–ALANIA

**I. R. Manukyan,
T. S. Abieva,
N. N. Doguzova**

The results of research on the identification of winter triticale varieties most adapted to the soil and climatic conditions of the foothill zone of the Central Caucasus are presented. The research was carried out in 2019–2021 in the fields of SCNIIGPSH VNC RAS on 8 varietal samples: TGI 24/1 (Russia), Almaz (Russia), Kapral (Russia), Moderato (Poland), Hortenso (Poland), Grenado (Poland), Gor (Russia), Knyaz (Russia). For a comprehensive assessment and selection of valuable source material during selection for adaptability, a set of techniques was used to establish the reliability of the observed differences and obtain the necessary information about potential productivity and environmental plasticity. The highest ecological plasticity was characterized by the varieties of Gor (bi) = 0.7 and Hortenso and Grenado (bi) = 0.6. According to the coefficient of stability in various vegetation conditions, the variety Moderato and TGI 24/1 ($S2d$) = 0.01 turned out to be the best. The varieties of Gor, Hortenso and Grenado formed the highest average productivity of the ear over three years, which amounted to 3.6 and 3.3 g/kol, respectively. The share of the factor in the formation of yield was determined. The influence of vegetation conditions was 3.1% of varietal characteristics — 54.1%. High resistance to environmental stress factors was established in the litter Moderato, maximum compliance with the environmental conditions of the region – in varieties, Gor (3.6), Hortenso (3.3) and Grenado (2.8). High resistance to environmental stress factors has been established in the varieties of Gor, Hortenso and Grenado, high stability of productivity is characterized by varietal varieties – Moderato and TGI 24/1. In the distinguished varietal samples, the IPR index was: 19,6, 16,4, 18,4, 15,0, 11,1 accordingly, according to the classification table, it corresponds to high productivity. In the varieties Almaz, Kapral, and TGI 24/1, the indicators of the IPR index (10.0, 9.8, 10.6) corresponded to the average productivity of winter triticale. The selected cultivars will be used in breeding programs, when creating winter triticale varieties for the foothill zone of the Central Caucasus.

Keywords: winter triticale, yield, adaptability, resistance to stress, indices of environmental conditions, ecological plasticity, stability.