

УРОЖАЙНОСТЬ И ПАРАМЕТРЫ АДАПТИВНОСТИ ТРИТИКАЛЕ НА ЗЕЛЕНый КОРМ В УСЛОВИЯХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А. В. Крохмаль, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела селекции и семеноводства пшеницы и тритикале, krochmal_58@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3104-3308;

Е. А. Гординская, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, ORCID ID: 0000-0002-3839-7299;

Н. И. Барулина, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства тритикале, ORCID ID: 0000-0002-6946-8838

ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр»,
346735, Ростовская обл., Аксайский район, п. Рассвет, ул. Институтская, д. 1;
e-mail: dzni@mail.ru

Задача селекционной программы – создать сорт, обладающий высоким потенциалом продуктивности, способный реализовать этот потенциал в широком спектре условий среды. Цель работы – установить особенности формирования урожая зеленого корма, оценить адаптивность сортов и отдельных ее параметров в условиях степной зоны Ростовской области. Климат зоны засушливый, с неравномерностью выпадения осадков и частыми суховеями. Почвенный покров представлен черноземами южными среднесуглинистыми. Объект исследований – 6 озимых сортов тритикале кормового направления собственной селекции. Сорта высевали по двум предшественникам: по чистому пару для выявления потенциальных возможностей продуктивности и по просо для определения возможностей сорта в условиях, приближенных к производственным. Было установлено, что наибольшая доля влияния на изменчивость урожайности принадлежит условиям среды, 89,0 %, и лишь 4,6 % – влияние сорта. Наибольшую урожайность в среднем за годы исследований по пару сформировал сорт Стюард (90,1; максимальная – 104,5 т/га), по предшественнику просо – Бемоль 20 (51,6; максимальная – 67,1 т/га). Урожай зеленой массы тесно связан с количеством стеблей на 1 м² ($r = 0,81$). Было определено, что на период учета зеленой массы стеблестой на 1 м² колебался от 801 шт. (Торнадо) до 954 шт. (Бемоль 20). Редукция стеблей к этому периоду у сортов Торнадо, Стюард, Ариозо и Бемоль 20 составила 13–16 %, у сорта Арга – 26 %, Аграф – 4%. Варьирование продуктивности по пару колебалось от 9,9 % (Ариозо) до 19,5 % (Бемоль 20), по предшественнику просо – вдвое выше, от 19,3% (Бемоль 20) до 30,3 % (Стюард). Анализ параметров адаптивности изученных сортов позволил разносторонне оценить адаптивные свойства сортов. Так, сорт Аграф имел ранг 1 по стабильности (S^2), Стюард – по максимальному урожаю и генетической гибкости (ГГ), Бемоль 20 – по средней продуктивности во всей совокупности сред, коэффициенту адаптации (КА). По сумме рангов основных количественных и качественных показателей адаптивности лидировал сорт Арга (сумма рангов 20) – с рангом 1 по стрессоустойчивости (СУ), гомеостатичности (Ном), селекционной ценности генотипа (Sc и СЦГ_i).

Ключевые слова: тритикале, сорт, зеленый корм, продуктивность, адаптивность, пластичность, стабильность

Для цитирования: Крохмаль А. В., Гординская Е. А., Барулина Н. И. Урожайность и параметры адаптивности тритикале на зеленый корм в условиях степной зоны Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 4. С. 81–89. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-93-4-81-89.



PRODUCTIVITY AND ADAPTABILITY PARAMETERS OF TRITICALE FOR GREEN FEED IN THE STEPPE PART OF THE ROSTOV REGION

A. V. Krokhmal, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the department of breeding and seed production of wheat and triticale, krochmal_58@mail.ru,

ORCID ID: 0000-0002-3104-3308;

E. A. Gordinskaya, senior researcher of the laboratory of triticale breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-3839-7299;

N. I. Barulina, junior researcher of the laboratory of triticale breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-6946-8838

FSBI "Federal Rostov Agrarian Research Center",
346735, Rostov region, Aksai district, village Rassvet, st. Institutskaya, 1; e-mail: dzni@mail.ru

The goal of the breeding program is to develop a variety with high productivity potential, capable of realizing this potential in a wide range of environmental conditions. The purpose of the work was to establish the features of the formation of the green forage crop, to estimate the adaptability of varieties and its individual parameters in the conditions of the steppe part of the Rostov region. The climate of the territory was arid, with uneven precipitation and frequent dry winds. The soil cover is represented by southern medium-deep clayey blackearth. The objects of the study were 6 winter varieties of feed triticale of the own breeding. The varieties were sown according to two forecrops, such as weedfree fallow to identify potential productivity opportunities, and millet to determine the capabilities of the variety in conditions close to production. There was found that the largest share of the effect on productivity range was of envi-

ronmental conditions, 89.0 %, and only 4.6 % of the effect of the variety. The largest mean productivity over the years of study was formed by the variety 'Styuard' (90.1; maximum 104.5 t/ha) when laid in fallow, and the variety 'Bemol 20' (51.6; maximum 67.1 t/ha) when sown after millet. Green mass productivity is closely related to a number of stems per 1 m² ($r = 0.81$). There was determined that during the studying period of green mass, stem stand per 1 m² ranged from 801 ('Tornado') to 954 pieces ('Bemol 20'). By this period stem reduction of the varieties 'Tornado', 'Styuard', 'Ariozo' and 'Bemol 20' was 13–16 %, that of the varieties 'Argo' and 'Agraf' 26 % and 4 % respectively. The productivity range of the varieties when sown in fallow varied from 9.9 % ('Ariozo') to 19.5 % ('Bemol 20'), it was twice as high when sown after millet, from 19.3 ('Bemol 20') to 30.3 % ('Styuard'). Analysis of the adaptability parameters of the studied varieties allowed a comprehensive estimation of the adaptive properties of the varieties. Thus, the variety 'Agraf' had rank 1 in terms of stability (S^2), 'Styuard' in terms of maximum productivity and genetic flexibility (GF), 'Bemol 20' in terms of average productivity in the entire set of environments, adaptation coefficient (AC). According to the sum of ranks of the main quantitative and qualitative indicators of adaptability, the variety 'Argo' was the best one (sum of ranks 20), with rank 1 for stress resistance (SR), homeostaticity (Hom), and breeding value of the genotype (Sc and GBV_i).

Keywords: triticale, variety, green feed, productivity, adaptability, plasticity, stability

Введение. Тритикале – культура с очень широким спектром сфер применения. Зерновые тритикале могут быть использованы для получения фуражного зерна, в хлебопечении, кондитерском производстве, для получения крахмала, биоэтанола, крупы (Мелешкина и Бундина, 2018; Пономарев и др., 2018). Кормовые тритикале можно использовать для кормления животных в свежем виде, приготовления травяной муки, гранул, сенажа и т.п. (Горянина, 2019; Ковтуненко и др., 2019).

В последние годы наблюдается тенденция повышения внимания агропроизводителей к кормовым сортам тритикале, увеличился спрос на семена кормовых сортов. Это связано с расширением животноводства, наметившимся в нашей стране в связи с санкциями и необходимостью создания продовольственной безопасности государства. Тритикале – культура, которая не поражается большинством фитопатогенов, посевы ее не нуждаются в пестицидном прикрытии. Это дает возможность получать экологически чистый продукт – как зерно, так и зеленый корм, что немаловажно для кормопроизводства.

Важную роль в расширении ареалов распространения сортов тритикале и увеличении посевных площадей играет уровень адаптивных свойств сортов, способности их реализовывать высокий потенциал продуктивности в широком спектре основных стрессовых факторов среды (Крохмаль и др., 2020). Проблема адаптивности сортов кормового направления пока слабо исследована. Поэтому изучение адаптивных свойств создаваемых сортов является важной составляющей селекционной программы по кормовым тритикале. Основная цель данной работы – установить особенности формирования продуктивности кормовых тритикале и параметры адаптивности сортов тритикале, созданных в ФГБНУ ФРАНЦ, предназначенных на зеленый корм.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр» (ФРАНЦ) в условиях северо-западной степной

зоны Ростовской области в 2018–2022 годах. Климат засушливый континентальный. Осадки распределены неравномерно по фазам вегетации, преобладающее количество осадков выпадает в осенне-зимний период. Зима обычно мягкая, с частыми возобновлениями вегетации в январе–феврале.

Объект исследований – сорта тритикале кормового назначения собственной селекции Аграф, Торнадо, Арго, Стюард, Ариозо и Бемоль 20. Государственный стандарт для кормовых тритикале в 2018–2020 гг. – сорт Аграф, в 2021–2022 гг. – сорт Арго. Питомники закладывали по двум предшественникам: по чистому пару для выявления потенциальных возможностей продуктивности и по просу для определения возможностей сорта в условиях, приближенных к производственным. Сроки посева – оптимальные для зоны (середина сентября). Площадь делянки 21 м², повторность трехкратная, расположение делянок систематическое. Норма высева по пару 1,5 млн, по беспарью – 4 млн семян на 1 га. Для оценки редукции стеблей в течение вегетации определяли густоту стеблестоя на 1 м² в фазе начала роста соломины и фазе начала колошения. Зеленую массу учитывали в фазу технологической спелости, в начале колошения. В период вегетации вели фенологические наблюдения, оценивали устойчивость сортообразцов к фитопатогенам по общепринятым методикам. Экспериментальные данные обрабатывали, используя пакет статистического анализа ANOVA, а также пакет анализа данных Excel 2010. Параметры экологической пластичности рассчитывали по методу Эберхарта и Рассела в изложении В. З. Пакудина и Л. М. Лопатиной (1984), гомеостатичность – по В. В. Хангильдину и Н. А. Литвиненко (1981), параметры адаптивной способности и стабильности – по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой (1985).

Условия увлажнения в годы проведения исследований значительно различались, сумма активных температур различалась мало (табл. 1).

Таблица 1. Гидротермические показатели, данные метеопоста «Донское поле» (2018–2022 гг.)
Table 1. Hydrothermal indicators, data from the weather station 'Donskoe Pole' (2018–2022)

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	Средне-многолетнее
Σ активных температур, °С	4279	4202	4220	4165	4168	–
Σ осадков, мм	496,1	544,0	273,2	334,2	374,6	451
Σ осадков осенней вегетации, мм	83,5	76,5	47,9	36,0	65,9	58
Σ осадков весенне-летней вегетации, мм*	36,3	185,8	71,8	90,4	92,6	86
ГТК, год	1,16	1,29	0,65	0,80	0,90	–
ГТК осенней вегетации	1,02	0,81	0,56	0,36	0,89	–
ГТК весенне-летней вегетации*	0,35	1,79	0,72	1,15	1,02	–

Примечание. * – до наступления укосной спелости.

Сумма осадков за год различалась очень значительно. Среднемноголетняя годовая сумма осадков составляет 451 мм, за весенне-летний период, до наступления укосной спелости тритикале – 86 мм. 2020, 2021 и 2022 гг. в целом характеризовались дефицитом влаги. Осенняя вегетация 2018, 2019, 2022 гг. протекала в условиях достаточного увлажнения. Осенью 2020 г. наблюдали дефицит влаги, а в 2021 г. – острую засуху, выпало всего 36 мм осадков (при среднемноголетней сумме 58 мм), которые выпали 30–31 октября, за несколько дней до прекращения осенней вегетации. Расчеты гидротермического коэффициента (ГТК) показали, что период

осенней вегетации 2018 г. можно охарактеризовать как слабозасушливый (ГТК 1,0–1,3), 2019, 2022 г. – засушливый (ГТК 0,7–1,0), 2021 г. – сухой (ГТК < 0,4). Период весенне-летней вегетации: 2018 г. – сухой, 2020 г. – засушливый, 2021, 2022 гг. – слабозасушливые, 2019 г. – влажный (ГТК > 1,3).

Результаты и их обсуждение. Сортимент озимых тритикале на зеленый корм в Госреестре невелик. Из 105 озимых сортов тритикале в Госреестре 2023 года всего 10 кормового назначения. На 2024 г. рекомендованы к допуску еще два кормовых сорта (табл. 2) ([URL: https://gossortrf.ru](https://gossortrf.ru)).

Таблица 2. Сорта тритикале на зеленый корм, Госреестр 2024 года
Table 2. Triticale varieties for green feed, State List of 2024

Сорт	Год внесения в Госреестр	Регион допуска в производство
ФГБНУ ФРАНЦ		
Аллегро	1995	5, 6
Аграф	2004	6, 7, 8
Торнадо	2007	2, 4, 5, 6, 7, 11
Арго	2018	3, 4, 5, 6, 8
Ариозо	2023	3, 4, 5, 6, 7, 8
Стюард	2024*	3, 4, 6, 7
Бемоль 20	2024*	5
Другие НИИ		
Ставропольский 5	1995	6
Квазар	2008	6
Ижевская 2	2011	4
Бобби	2017	2
Слон	2022	3, 4, 5, 6, 7, 8

Примечание. * – рекомендованы экспертной комиссией для включения в Госреестр на 2024 год.

Высокая продуктивность сорта – основная цель селекции любой культуры. Урожай зеленой массы – интегрированный признак, который обуславливается многими факторами. Его величина зависит от потенциальных возможностей сорта и условий среды. Влияют на урожайность предшественник, гидротермические условия года, уровень увлажнения в период формирования урожая, продолжительность периода от выхода в трубку до технологической спелости.

Высота соломины является значимым компонентом урожая зеленого корма. Кормовые

сорта тритикале высокорослые, высота соломины при достаточном увлажнении достигает 200 см и более. В засуху, как, например, в 2018 г., высота растений была на 30–60 см короче, чем в благоприятные годы. Высота растений зависит также от предшественника. По пару сорта формируют более высокую соломину, чем по непаровому предшественнику (рис. 1). Наиболее высокорослым среди изученных сортов был сорт Стюард – 189 см в среднем по пару и 173 см по предшественнику просо.

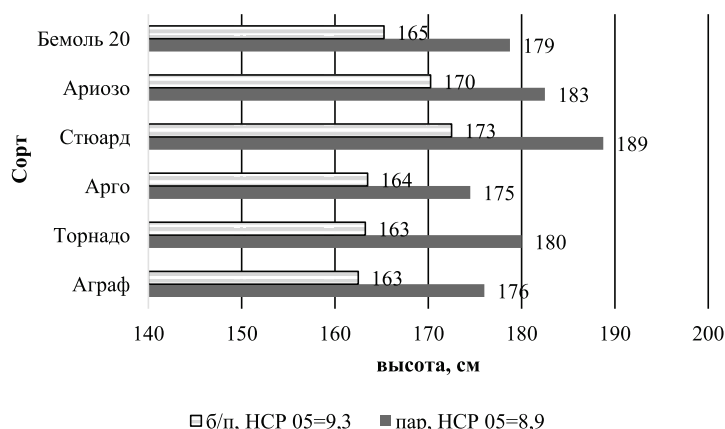


Рис. 1. Высота растений сортов тритикале по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)
Fig. 1. Plant height of triticale varieties when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Наряду с высотой растений большое влияние на уровень урожайности оказывает способность сорта интенсивно куститься. Коэффициент корреляции урожая зеленого корма с количеством стеблей на 1 м² $r = 0,81$.

Во время учета урожая было определено количество стеблей с 1 м². Наибольшее количество стеблей по пару формировал сорт Бемоль 20 (в среднем 980 стеблей), по беспарью – сорт Стюард (655 шт.) (рис. 2).

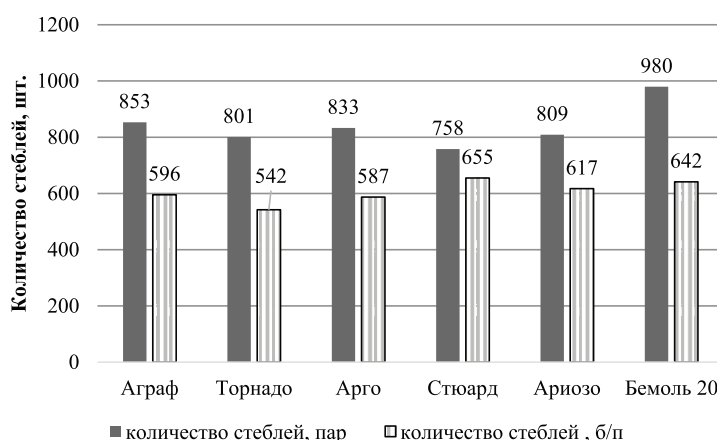


Рис. 2. Количество стеблей на 1 м² по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)
Fig. 2. Number of stems per 1 m² when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Кормовые сорта тритикале, как правило, сильно кустятся. В течение вегетации (к моменту учета урожая) часть стеблей отмирает. Как видно из таблицы 3, редукция стеблей сортов Торнадо, Стюард, Ариозо и Бемоль 20 была

одного порядка – 13–16 %. Сорта же Аграф и Арго значительно отличались. Редукция стеблей первого сорта была всего 4 %, второго – наибольшей, 26 % (табл. 3).

Таблица 3. Редукция стеблей кормовых сортов тритикале, пар (2020–2022 гг.)
Table 3. Reduction of stems of feed triticale varieties, laid in fallow (2020–2022)

Сорт	Количество стеблей на 1 м ² , шт.		Редукция стеблей, %	Доля листьев, %, фаза укосной спелости	
	фаза начала роста соломины	фаза укосной спелости		пар	беспарье
Аграф	888	853	4	21,4	19,8
Торнадо	938	801	15	21,3	20,4
Арго	1128	833	26	22,5	19,6
Стюард	960	823	14	20,7	18,9
Ариозо	966	811	16	22,3	20,3
Бемоль 20	1092	954	13	20,0	20,2

Качество получаемого корма генетически детерминировано, а доля листьев в зеленом

корме варьирует от 18 до 24 % в зависимости от года и сорта. По пару доля листьев обыч-

но на 2–3 % выше, чем по беспарью (табл. 3). Поскольку количество листьев на растении постоянное и одинаковое у всех сортов тритикале (7–8 листьев), различия в облиственности между сортами обуславливаются длиной и шириной листьев. Эти показатели у сортов разные. У сортов Арго и Бемоль 20 лист длинный, 32–34 и 29–31 см, у сортов Торнадо и Ариозо короче – 23 и 23–27 см соответственно. Ширина листа сорта Ариозо 2,5 см, Торнадо – 1,8 см, Аграф – 1,4 см.

При помощи дисперсионного анализа полученных экспериментальных данных определи-

ли долю влияния на продуктивность сорта, среды и взаимодействия «генотип–среда». Доля влияния среды составила 89,0% ($F_{\text{факт.}} = 100,9$; $F_{\text{кр.}} = 2,28$), сорта – 4,6 % ($F_{\text{факт.}} = 2,51$; $F_{\text{кр.}} = 2,48$), взаимодействие генотип–среда – 6,4 %.

Урожай зеленой массы изученных сортов за период исследований различался. В среднем за 2018–2022 гг. наибольший урожай по пару сформировал сорт Стюард (90,1 т/га), по непаровому предшественнику – Бемоль 20 (51,6 т/га) (рис. 3).

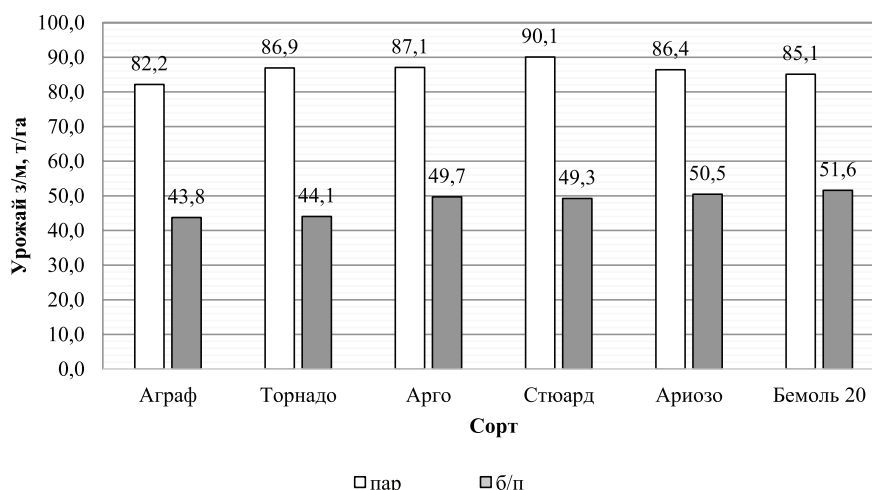


Рис. 3. Урожай зеленой массы по пару и непаровому предшественнику (2018–2022 гг.)

Fig. 3. Green mass productivity based when sown in fallow and after a non-fallow forecrop (2018–2022)

Следует отметить, что наиболее благоприятные условия для роста и развития кормовых тритикале сложились в 2020 г., когда все сорта сформировали наиболее высокий урожай зеленого корма как по пару, так и по непаровому предшественнику (в среднем 94,9 и 62,5 т/га). Максимальный урожай зеленой массы по пару дал сорт Стюард – 104,5 т/га, по просу – сорт Бемоль 20 – 67,2 т/га.

Создавая сорта тритикале с высоким потенциалом продуктивности, нужно учитывать, что стабильный урожай зеленого корма смогут обеспечить сорта, устойчивые к основным стрессовым факторам среды, с высокими

адаптивными свойствами. Поэтому изучение адаптивности сортов представляется нам маловажным.

Коэффициент вариации продуктивности сорта – наиболее доступный показатель адаптивных свойств сорта, он показывает, насколько сорт реагирует на изменение условий среды. Для определения изменчивости уровня продуктивности сорта в зависимости от условий года и предшественника мы рассчитали коэффициент вариации (V , %) урожая по всем годам и двум предшественникам (табл. 4). Изменчивость признака всех сортов была значительной.

Таблица 4. Продуктивность и ее вариабельность кормовых тритикале по разным предшественникам (2018–2022 гг.)

Table 4. Productivity and its variability of feed triticale according to different forecrops (2018–2022)

Сорт	Пар				Беспарье (просо)				Пар/б/п, V, %
	Урожай зеленого корма, т/га			V, %	Урожай зеленого корма, т/га			V, %	
	min	max	среднее		min	max	среднее		
Аграф	72,6	90,3	81,3	12,2	26,5	56,4	43,8	29,2	36,5
Торнадо	78,6	98,3	86,9	14,8	27,5	60,0	44,1	28,7	38,6
Арго	75,7	96,3	87,1	14,2	36,5	64,0	49,7	19,7	31,3
Стюард	75,0	104,5	90,1	18,8	32,0	63,3	49,3	30,7	35,3
Ариозо	76,6	94,8	86,4	9,9	29,5	64,0	50,5	28,9	32,6
Бемоль 20	86,0	98,7	85,1	19,5	30,6	67,1	51,6	19,3	34,1
	HCP ₀₅ = 7.2				HCP ₀₅ = 4.9				

Примечание. V , % – коэффициент вариации.

Однако расчет этого показателя по каждому предшественнику в отдельности дал другие результаты. Коэффициент вариации урожайности у сортов Аграф, Торнадо и Стюард по пару был в 2, а у сорта Ариозо в 3 раза ниже (9,9 и 28,9 %), чем по предшественнику просо. Исключение составил сорт Бемоль 20, варьирование его продуктивности по пару и беспарью было одинаковым (19,5 и 19,3 %).

Многие исследователи для оценки адаптивных свойств используют показатели стрессоустойчивости (CC , $Y_{\min} - Y_{\max}$), генети-

ческой гибкости ($ГГ$, $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$) и коэффициента адаптивности ($КА$, $(Y_{\text{среднее сорта}} \times 100 : Y_{\text{среднее по опыту}} : 100)$) (Богдан и др., 2023; Засыпкина и Донцова, 2024; Рыбась и др., 2023). Чем меньше разница между минимальной и максимальной урожайностью сорта, тем выше его устойчивость к стрессам. К относительно стрессоустойчивым можно отнести сорт Арго (табл. 5). У этого же сорта отмечали наибольшую урожайность в лимитированных условиях и наименьшую вариабельность продуктивности.

Таблица 5. Продуктивность и адаптивность сортов кормовых тритикале (2018–2022 гг.)
Table 5. Productivity and adaptability of feed triticale varieties (2018–2022)

Сорт	Урожай зеленого корма, т/га			СУ	ГГ	КА	b_i	Hom	Sc	S^2
	min	max	среднее							
Аграф	26,5	90,3	63,0	-63,8	58,4	0,93	0,98	1,07	18,5	1,73
Торнадо	27,5	98,3	65,5	-70,8	62,9	0,96	1,07	0,96	18,3	9,39
Арго	36,5	96,3	69,1	-59,8	66,4	1,02	0,92	1,46	26,2	3,38
Стюард	32,0	104,5	70,0	-72,5	68,2	1,03	1,05	1,15	21,4	9,56
Ариозо	29,5	94,8	68,4	-65,2	62,1	1,01	0,93	1,34	21,3	22,38
Бемоль 20	30,6	98,7	71,7	-68,1	64,6	1,05	1,04	1,23	22,2	8,30

Примечание. СУ – стрессоустойчивость, ГГ – генетическая гибкость, КА – коэффициент адаптивности, b_i – коэффициент линейной регрессии, Hom – гомеостатичность, Sc – селекционная ценность (по Хангильдину), S^2 – стабильность.

Генетическая гибкость (ГГ) отражает среднее значение продуктивности в контрастных условиях выращивания. Высокий уровень этого показателя свидетельствует о большой степени соответствия между генотипом и средой. По этому показателю ГГ выделились сорта Стюард и Арго – 68,2 и 66,4 соответственно.

Наиболее часто применяемым методом оценки адаптивности сортов является коэффициент линейной регрессии по среде (b_i), который отражает реакцию сортов на изменение условий среды. Значение этого показателя у изученных сортов было достаточно близким, с колебаниями от 0,92 до 1,07. Если b_i близок к единице – сорт пластичный, то есть реализует потенциал продуктивности в разных условиях возделывания. К таким сортам можно отнести сорт Аграф. Если больше единицы – сорт отзывчив на улучшение условий выращивания. К таким сортам относятся Торнадо, Стюард и Бемоль 20, они будут реагировать на ухудшение условий среды снижением продуктивности. Сорта, у которых этот показатель меньше единицы, такие как Арго и Ариозо, пригодны для выращивания в неблагоприятных условиях. На бедных агрофонах они будут иметь преимущество перед другими сортами.

Гомеостаз – комплексная система адаптивных реакций сорта. Гомеостатичность сорта показывает его способность сводить к минимуму негативные воздействия среды. К числу сортов с высокой гомеостатичностью (Hom) можно отнести сорт Арго. Этот сорт характеризуется также наибольшей селекционной ценностью (Sc).

Варианса стабильности S^2 показывает, насколько сорт соответствует пластичности, рассчитанной посредством коэффициента регрессии. Чем ближе его значение к 0, тем выше стабильность сорта. По существу, этот показатель аналогичен коэффициенту вариации, но рассчитывается с учетом различий между фактической и теоретической продуктивностью. В нашем случае стабильность сортов, рассчитанная вторым способом, совпадает со стабильностью, рассчитанной посредством коэффициента вариации внутри сред (по отдельным предшественникам). Наиболее стабильны сорта Аграф и Арго, что подтверждается показателями их коэффициентов вариации продуктивности (Аграф – 12,2 %, Арго – 9,9 %).

Более полную информацию о свойствах адаптивности и стабильности сортов дает метод, предложенный Кильчевским и Хотылевой. Мы рассчитывали общую (OAC_i) и специфическую адаптивную способность ($\sigma^2 CAC_i$), относительную стабильность (σCAC_i), взаимодействие генотип–среда ($\sigma^2(G+A)_{gi}$), селекционную ценность генотипов (SC_i), коэффициенты линейности (I_{gi}) и компенсации (K_{gi}).

Величина OAC_i отражает возможности сорта формировать высокий урожай в большой совокупности сред. В наших исследованиях наибольший эффект общей адаптивной способностью отмечен у сорта Бемоль 20 (табл. 6), что подтверждают результаты изучения его продуктивности в разных средах. Сорт имел наибольший средний урожай зеленого корма при посеве в разные годы по разным предшественникам (табл. 6).

Таблица 6. Показатели адаптивной способности и стабильности кормовых сортов тритикале
Table 6. Indicators of adaptive capacity and stability of feed triticale varieties

Сорт	OAC_i	$\sigma^2 CAC_i$	σCAC_i	$\sigma^2_{(G+A)gi}$	$СЦГ_i$	I_{gi}	K_{gi}
Аграф	-4,98	522,3	22,85	-1,42	30,1	-0,003	0,97
Торнадо	-2,44	633,4	25,17	10,14	29,3	0,016	1,17
Арго	1,19	464,2	21,55	3,39	38,1	0,007	0,86
Стюард	2,04	604,4	24,58	8,72	34,6	0,014	1,12
Ариозо	0,51	494,7	22,24	24,44	36,5	0,049	0,92
Бемоль 20	3,68	590,4	24,30	6,68	36,7	0,011	1,09

Примечание. OAC_i – общая адаптивная способность, $\sigma^2 CAC_i$ – специфическая адаптивная способность, σCAC_i – относительная стабильность, $\sigma^2_{(G+A)gi}$ – взаимодействие генотип–среда, $СЦГ_i$ – селекционная ценность генотипа, I_{gi} – коэффициент линейности ответа генотипа на среду, K_{gi} – коэффициент компенсации.

Чем ниже показатель специфической адаптивной способности $\sigma^2 CAC_i$, тем меньше будет меняться продуктивность сорта при изменении условий среды. В некотором смысле этот показатель аналогичен вариансе стабильности S^2 . Меньше всего реагирует на изменение условий выращивания сорт Арго, больше всего – сорт Торнадо.

Низкое значение вариации взаимодействия генотип–среда $\sigma^2_{(G+A)gi}$ показывает, что сорт адаптирован к широкому спектру условий, высокое – к узкому спектру. Можно заключить, что сорта Аграф и Арго, имеющие наиболее низкие показатели генотип–средового взаимодействия, адаптированы к широкому разнообразию условий возделывания, сорт Ариозо можно назвать узкоадаптированным.

Селекционная ценность генотипов ($СЦГ$) практически аналогична показателю S_c , но в отличие от него учитывает продуктивность не в двух средах (оптимальной и лимитирующей), а во всей совокупности сред. По уровню $СЦГ$ лидировал сорт Арго. При этом сорт лидировал по показателям относительной ста-

бильности и некоторым другим параметрам. Коэффициент линейности I_{gi} всех сортов был меньше единицы, что свидетельствует о том, что отклик всех генотипов на изменения условий среды носит линейный характер.

Коэффициент компенсации K_{gi} отражает реакцию сорта на изменение условий среды, по своему значению он аналогичен коэффициенту линейной регрессии по среде. Величина его варьировала от 0,86 до 1,17. K_{gi} используется для определения характера взаимодействия генотипа со средой. При значении его меньше единицы взаимодействие носит компенсационный характер (Арго, Ариозо), при $K_{gi} \approx 1$ эффекты компенсации и дестабилизации находятся в равновесии (Аграф, Бемоль 20). При $K_{gi} > 1$ взаимодействие генотипа со средой характеризуется как дестабилизирующее (Торнадо, Стюард).

Для определения комплексного адаптивного потенциала сортов с учетом рассчитанных параметров провели ранжирование сортов по основным количественным и качественным показателям адаптивности (табл. 7).

Таблица 7. Ранговая оценка показателей адаптивности сортов озимой тритикале (2018–2022 гг.)
Table 7. Rank estimation of adaptability indicators of winter triticale varieties (2018–2022)

Сорт	Урожайность		СУ	ГГ	КА	V, %	Hom	Sc	S ²	СЦГ _i	Сумма рангов
	средняя	max									
Аграф	6	6	2	6	6	2	5	5	1	5	44
Торнадо	5	3	5	4	5	4	6	6	4	6	50
Арго	3	4	1	2	3	3	1	1	2	1	20
Стюард	2	1	6	1	2	5	4	3	5	4	34
Ариозо	4	5	3	5	4	1	2	4	6	3	36
Бемоль 20	1	2	4	3	1	6	3	2	3	2	26

Примечание. СУ – стрессоустойчивость, ГГ – генетическая гибкость, КА – коэффициент адаптивности, V% – коэффициент вариации, Hom – гомеостатичность, Sc – селекционная ценность (по Хангильдину), S² – стабильность, СЦГ_i – селекционная ценность генотипа.

По сумме рангов сорта распределились следующим образом: 1 – Арго (сумма рангов 20), 2 – Бемоль 20 – (26), 3 – Стюард (34), 4 – Ариозо (36), 5 – Аграф (44), 5 – Торнадо (50).

Выводы. В ФГБНУ ФРАНЦ созданы новые высокопродуктивные озимые сорта тритикале, предназначенные на зеленый корм. За годы исследований наибольший урожай по пару сформировал сорт Стюард (90,4 т/га, максимальный –

104,5 т/га), по предшественнику просо – сорт Бемоль 20 (51,6, максимальный – 67,1 т/га). Установлено, что на изменчивость продуктивности кормовых сортов основное влияние (89,0 %) оказывают условия среды (предшественник, год), влияние сорта составляет лишь 4,6 %. Вариативность продуктивности сортов по двум предшественникам достаточно высокая – от 31,3 % у сорта Арго до 38,6 % у Торнадо.

По предшественнику пар продуктивность сортов варьировала в разы меньше, с колебаниями от 9,9 % у сорта Ариозо до 18,8 % у сорта Стюард, по непаровому предшественнику изменчивость урожайности менялась от 19,7 % у Агро до 30,7 % у сорта Стюард.

Анализ параметров адаптивности изученных сортов позволил разносторонне оценить адаптивные свойства сортов. Так, сорт Аграф имел ранг 1 по стабильности (S^2), Стюард –

по максимальному урожаю и генетической гибкости (ГГ), Бемоль 20 – по средней продуктивности во всей совокупности сред, коэффициенту адаптации (КА). По сумме рангов основных количественных и качественных показателей адаптивности лидировал сорт Агро (сумма рангов 20) – с рангом 1 по стрессоустойчивости (СУ), гомеостатичности (Ном), селекционной ценности генотипа (Sc и СЦГ).

Библиографические ссылки

1. Богдан П. М., Клыков А. Г., Коновалова И. В., Кузьменко Н. В. Адаптивный потенциал яровой твердой пшеницы (*Triticum Durum* Desf.) в условиях Приморского края // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184(1), С. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Горянина, Т. А. Урожайность и качество зеленой массы озимых культур в зависимости от сроков сева // Кормопроизводство. 2019. № 6. С. 23–27. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.32189
3. Засыпкина И. М., Донцова А. А. Результаты изучения параметров адаптивности озимого ячменя по предшественникам // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
4. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Метод оценки адаптивной способности и стабильности генотипов, дифференцирующей способности среды // Генетика. 1985. Т. XXI, № 9. С. 1491–1498.
5. Ковтуненко В. Я., Беспалова Л. А., Панченко В. В., Калмыш А. П., Гольдварг Б. А. Роль тритикале в повышении продуктивности кормопроизводства // Кормопроизводство. 2019. № 2. С. 14–17. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.25888
6. Крохмаль А. В., Грабовец А. И., Гординская Е. А., Бирюков К. Н., Барулина Н. И. Селекция тритикале кормового направления на продуктивность и адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610
7. Мелешкина Е. П., Бундина О. И. Зерно тритикале и продукты его переработки: новые ГОСТы // Контроль качества продукции. 2018. № 11. С. 24–27.
8. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сортов сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 4. С. 109–113.
9. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Фомин С. И., Маннапова Г. С. Кормовая ценность сортов озимой тритикале в Средневолжском регионе // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 7. С. 47–51. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10711
10. Рыбась И. А., Иванисов М. М., Марченко Д. М., Киринов А. В., Романюкина И. В., Чухненко Ю. Ю., Ивженко Н. А. Оценка параметров адаптивности сортов озимой пшеницы в южной зоне Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 6. С. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
11. Хангильдин В. В., Литвиненко Н. А. Гомеостатичность и адаптивность сортов озимой пшеницы // Бюллетень Всесоюзного селекционно-генетического института. Одесса, 1981. Вып. 1(39). С. 8–14.
12. Протокол № 4 от 19.12.2023 г. порядка проведения Экспертной комиссии по зерновым, зернобобовым и крупяным культурам. URL: <https://gossortrf.ru/upload/files/activity/ek/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%20%20%D0%BE%D1%82%2019.12.23.pdf> (дата обращения: 10.07.2024).

References

1. Bogdan P. M., Klykov A. G., Konovalova I. V., Kuz'menko N. V. Adaptivnyi potentsial yarovoi tvrdoi pshenitsy (*Triticum Durum* Desf.) v usloviyakh Primorskogo kraia [Adaptive potential of spring durum wheat (*Triticum Durum* Desf.) in the Primorsky Krai] // Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii. 2023. T. 184(1), S. 90–101. DOI: 10.30901/2227-8834-2023-1-90-101
2. Goryanina, T. A. Urozhainost' i kachestvo zelenoi massy ozimyykh kul'tur v zavisimosti ot srokov seva [Productivity and quality of green mass of winter crops depending on sowing time] // Kormoproizvodstvo. 2019. № 6. S. 23–27. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.32189
3. Zasypkina I. M., Dontsova A. A. Rezul'taty izucheniya parametrov adaptivnosti ozimogo yachmenya po predshestvennikam [Study results of the adaptability parameters of winter barley based on forecrops] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2024. T. 16, № 1. S. 48–54. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-48-54
4. Kil'chevskii A. V., Khotyleva L. V. Metod otsenki adaptivnoi sposobnosti i stabil'nosti genotipov, differentsiruyushchei sposobnosti sredy [Method for estimating the adaptive capacity and stability of genotypes, the differentiating ability of the environment] // Genetika. 1985. T. XXI, № 9. S. 1491–1498.
5. Kovtunen V. Ya., Bepalova L. A., Panchenko V. V., Kalmysh A. P., Gol'dvarg B. A. Rol' tritikale v povyshenii produktivnosti kormoproizvodstva [The role of triticale in improving productivity of feed production] // Kormoproizvodstvo, 2019. № 2. S. 14–17. DOI: 10.25685/KRM.2019.2019.25888
6. Krokhmal' A. V., Grabovets A. I., Gordinskaya E. A., Biryukov K. N., Barulina N. I. Seleksiya tritikale kormovogo napravleniya na produktivnost' i adaptivnost' [Breeding of feed triticale for productivity and adaptability] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020. T. 34, № 6. S. 54–58. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10610
7. Meleshkina E. P., Bundina O. I. Zerno tritikale i produkty ego pererabotki: novye GOSTy [Triticale grain and products of its processing: new GOSTs] // Kontrol' kachestva produktsii. 2018. № 11. S. 24–27.

8. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Otsenka ekologicheskoi plastichnosti i stabil'nosti sortov sel'skokhozyaistvennykh kul'tur [Estimation of environmental adaptability and stability of grain crop varieties] // Sel'skokhozyaistvennaya biologiya. 1984. № 4. S.109–113.
9. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Fomin S. I., Mannapova G. S. Kormovaya tsennost' sortov ozimoi tritikale v Srednevolzhskom regione [Feed value of winter triticale varieties in the Middle Volga region] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2018. T. 32, № 7. S. 47–51. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10711
10. Rybas' I. A., Ivanisov M. M., Marchenko D. M., Kirin A. V., Romanyukina I. V., Chukhnenko Yu. Yu., Ivzhenko N. A. Otsenka parametrov adaptivnosti sortov ozimoi pshenitsy v yuzhnoi zone Rostovskoi oblasti [Estimation of adaptability parameters of winter wheat varieties in the southern part of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2023. T. 15, № 6. S. 67–73. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-89-6-67-73
11. Khangil'din V. V., Litvinenko N. A. Gomeostatichest' i adaptivnost' sortov ozimoi pshenitsy [Homeostaticity and adaptability of winter wheat varieties] // Byulleten' Vsesoyuznogo selektsionno-geneticheskogo instituta. Odessa, 1981. Vyp. 1(39). S. 8–14.
12. Protokol № 4 ot 19.12.2023 g. poryadka provedeniya Ekspertnoi komissii po zernovym, zernobobovym i krupyanyam kul'turam [Protocol No. 4 on December 19, 2023, on the procedure for conducting the Expert Commission on grains, legumes, and cereal crops]. URL: <https://gossortrf.ru/upload/files/activity/ek/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D0%BB%20%D0%BE%D1%82%2019.12.23.pdf> (data obrashcheniya: 10.07.2024).

Поступила: 27.04.24; доработана после рецензирования: 26.07.24; принята к публикации: 26.07.24.

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. Крохмаль А. В. – концептуализация исследований, анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи, финальная доработка текста; Гординская Е. А. – концептуализация исследований, выполнение полевых опытов; Барулина Н. И. – выполнение полевых опытов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.