

Адаптивные свойства и экологическая пластичность перспективных линий яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России

© 2024. Т. А. Барковская ✉, О. В. Гладышева

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

В условиях Рязанской области изучали (2020–2023 гг.) адаптивные свойства и экологическую пластичность 8 селекционных линий яровой мягкой пшеницы (стандарт – сорт Агата) по признаку «урожайность» с использованием разноплановых статистических методов. Экологическую пластичность (b_i), стабильность (σ^2_d), индекс условий среды (I_j) определяли по С. А. Eberhart, W. A. Russell, вариацию – по Б. А. Доспехову, устойчивость к стрессу и генетическую гибкость – по А. А. Rossielle, J. Hemblin, индекс экологической пластичности – по А. А. Грязнову, показатель уровня стабильности урожайности сорта – по Э. Д. Нettekвичу, гомеостатичность (H_{om}), селекционную ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину, относительную стабильность, критерий стабильности – по Н. А. Соболеву, мультипликативность (KM) – по В. А. Драгавцеву. Установлено, что на уровень урожайности определяющее влияние оказывает фактор «среда» – 51,5 %, вклад фактора «генотип» – 11,5 %. Средняя урожайность в опыте составила 5,19 т/га, благоприятные условия 2022 г. ($I_j = 0,50$) позволили сформировать урожайность на 17,9 % выше, чем в 2021 г. ($I_j = -0,52$). Высокой урожайностью отличались линии 2-17 (6,24 т/га) и 21-17 (6,05 т/га), показатель генетической гибкости у них составил 5,58 и 5,41 т/га соответственно. Линии 1-17, 465-17 и 531-17 обладали наибольшей устойчивостью к стрессу (-0,63, -1,00), для них характерна высокая стабильность урожайности ($\sigma^2_d = 0,27-0,65$) и наименьшее снижение ее в неблагоприятных условиях. Сильная отзывчивость на изменение условий среды отмечена у линий 290-17, 2-17 и 21-17: b_i – 1,25–1,29, KM – 2,22–2,27. По степени гомеостатичности выделилась линия 1-17 (Sc – 4,63, ПУСС – 212, H_{om} – 18,3), данные показатели превышали среднесортные значения на 10,2 %, 81,0 абс. %, 98,9 % соответственно. По результатам интегрированной оценки методом ранжирования, селекционные линии 1-17, 465-17 и 21-17 проявили различную степень адаптивности, экологической устойчивости, гомеостатичности и обладали высоким рейтингом. Самый низкий рейтинг по сумме рангов параметров адаптивности и пластичности получил стандартный сорт Агата.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., линия, условия среды, показатели адаптации, гомеостатичность, рейтинг

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN2022-0013).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Барковская Т. А., Гладышева О. В. Адаптивные свойства и экологическая пластичность перспективных линий яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(1):35–42. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42>

Поступила: 29.12.2023

Принята к публикации: 12.02.2024

Опубликована онлайн: 28.02.2024

Adaptive properties and ecological plasticity of promising lines of spring soft wheat in the conditions of the Central Non-Black Earth Regions of Russia

© 2024. Tatyana A. Barkovskaya ✉, Olga V. Gladysheva

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

In the conditions of the Ryazan region, adaptive properties and ecological plasticity of 8 breeding lines of spring soft wheat (standard Agatha variety) were studied in 2020–2023 according to the "yield" trait using diverse statistical methods. Ecological plasticity (b_i), stability (σ^2_d), index of environmental conditions (I_j) were determined by S. A. Eberhart, W. A. Russell, variation – by B. A. Dospikhov, stress resistance and genetic flexibility – by A. A. Rossielle, J. Hemblin, index of ecological plasticity – by A. A. Gryanov, indicator the level of the variety yield stability – according to E. D. Nettekch, homeostaticity (H_{om}), breeding value (Sc) – according to V. V. Hangildin, relative stability, stability criterion – according to N. A. Sobolev, multiplicativity (KM) – according to V. A. Dragavtsev. It has been established that the yield level is mostly influenced by the factor "environment" – 51.5 %, the contribution of the factor "genotype" is 11.5 %. The average yield in the experiment was 5.19 t/ha, favorable conditions in 2022 ($I_j = 0.50$) allowed the yield to be 17.9 % higher than in 2021 ($I_j = -0.52$). Lines 2-17 (6.24 t/ha) and 21-17 (6.05 t/ha) had high yields, their genetic flexibility index was 5.58 and 5.41 t/ha, respectively. Lines 1-17, 465-17 and 531-17 had the highest resistance to stress (-0.63, -1.00), they are characterized by high yield stability ($\sigma^2_d = 0.27-0.65$) and the least decrease in it under adverse conditions. Strong responsiveness to changes in environmental conditions was noted for lines 290-17, 2-17 and 21-17: b_i – 1.25–1.29, KM – 2.22–2.27. According to the degree of homeostaticity, line 1-17 was distinguished (Sc – 4.63, PUSS – 212, H_{om} – 18.3), these indicators exceeded the average values by 10.2 %, 81.0 abs. %, 98.9 %, respectively.

According to the results of the integrated assessment by the ranking method, breeding lines 1-17; 465-17 and 21-17 showed varying degrees of adaptability, environmental stability, homeostaticity and had a high rating. The lowest rating in terms of the sum of the ranks of adaptability and plasticity parameters was obtained by the standard Agate variety.

Key words: *Triticum aestivum* L., line, environmental conditions, adaptation indicators, homeostaticity, rating

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN2022-0013). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citation: Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V. Adaptive properties and ecological plasticity of promising lines of spring soft wheat in the conditions of the Central Non-Black Earth Regions of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(1):35–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.1.35-42>

Received: 29.11.2023

Accepted for publication: 12.02.2024

Published online: 28.02.2024

Фундаментальные исследования в области генетики и селекции являются мощной биологической основой роста продуктивности зерновых культур. Прирост валового сбора зерна на 50–70 % обусловлен внедрением новых сортов, при этом на повышение урожайности значительное влияние оказывают эффекты генотип-средового взаимодействия [1, 2, 3]. Экологическая ориентированность создаваемых генотипов во все времена волновала многих селекционеров, а в последнее годы этот вопрос наиболее актуален по причине расширения агрометеорологических факторов, негативно влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур [4, 5, 6, 7]. В связи с этим, важная роль отводится созданию адаптивных форм растений, обладающих широким диапазоном реакции на изменяющиеся экологические условия, способных стабильно реализовать свои потенциальные возможности [8, 9, 10].

Для ведения целенаправленной селекции важны знания о соответствии продуктивности сортов зерновых культур критериям адаптивности и экологической пластичности [11, 12, 13]. Полученные данные позволяют сделать вывод об уровне стабильности сортов к воздействию погодно-климатических условий и их отклике на улучшение условий выращивания.

Использование в современном растениеводстве агроэкологически адресных сортов позволит снизить воздействие негативных антропогенных факторов на окружающую среду и будет способствовать эффективному развитию сельскохозяйственного производства.

На конечных этапах селекционной работы необходимо оценивать перспективность отбора лучших фенотипов по раскрытию адаптивного потенциала в агроклиматических условиях ландшафта. Для этих целей необходим выбор различных алгоритмов статистических величин для определения приспособительных возможностей, позволяющих охарактеризовать

специфику проявления генотипической способности [14, 15].

Цель исследования – определить адаптивные свойства и экологическую пластичность линий яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области с использованием разноплановых статистических методов.

Новизна исследований. В агроклиматических условиях Рязанской области дана комплексная оценка новым перспективным линиям яровой мягкой пшеницы по раскрытию адаптивного потенциала, по сумме рангов параметров адаптивности и пластичности выявлены селекционные линии с высоким рейтингом.

Материал и методы. Исследования проводили в 2020–2023 гг. в Институте семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (г. Рязань) в рамках конкурсного сортоиспытания. Уровень адаптивных свойств 8 перспективных линий яровой мягкой пшеницы оценивали по признаку «урожайность» (стандарт – сорт Агата).

Почвенный покров на опытном участке представлен темно-лесной тяжелосуглинистой почвой, содержание органического вещества – 4,95 %, подвижного фосфора – 213 мг/кг почвы, подвижного калия – 155 мг/кг почвы, общего азота – 0,228 %; pH_{сол.} – 4,91 ед.

Температурный режим и влагообеспеченность вегетации различались как по годам, так и межфазным периодам развития культуры. Растения в 2020 году развивались в условиях обильных осадков – 220,4 мм (май, июнь, июль) с суммой активных температур – 1713,5 °С. Избыточное увлажнение (ГТК – 2,57–2,77) наблюдалось на ранних этапах онтогенеза культуры (от фазы всходов до выхода в трубку), в дальнейшем условия были оптимальными (ГТК – 0,95–0,79).

Условия 2021 года характеризовались сильной вариабельностью влагообеспеченности. Так, в межфазный период «кущение - выход в трубку» отмечалось избыточное увлажнение (ГТК – 2,23), в последующие фазы «выход в трубку - колошение» – засушливые условия (ГТК – 0,0–0,23). Длительная атмосферная засуха сократила межфазный период «колошение - созревание», что негативно повлияло на продуктивность линий яровой мягкой пшеницы. Сумма активных температур в 2021 году составила 1806 °С.

Умеренно прохладные условия в период закладки репродуктивных органов и развития пшеницы до фазы «колошение» в 2022 году обеспечили хорошее развитие растений. Среднесуточная температура в этот период составила 15,4–20,9 °С, ГТК – 0,71–0,84. Жаркий и сухой июль (ГТК – 0,21) никак не отразился на продуктивности культуры. Сумма активных температур в 2022 году – 1712,6 °С.

В 2023 году во время кушения растений выпало 35,0 мм осадков, ГТК составил 0,87, что в целом было оптимально для начального периода развития. В дальнейшем нарастала засушливость, от фазы «выход в трубку» до фазы «колошение» ГТК составил 0,13, только к фазе «налив зерна» (июль) выпали осадки (ГТК – 1,22). Сумма активных температур в 2023 году – 1755,3 °С.

Экологическую пластичность (коэффициент линейной регрессии b_i), стабильность урожайности (σ^2_d) и индекс условий среды (I_j) определяли по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell в изложении В. А. Зыкина¹, устойчивость к стрессу ($Y_{min} - Y_{max}$) и генетическую гибкость ($(Y_{max} + Y_{min})/2$) – по А. А. Rossielle и J. Hemblin в изложении А. А. Гон-

чаренко², индекс экологической пластичности (ИЭП) – по А. А. Грязнову³, показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС) – по Э. Д. Неттевичу⁴ с соавторами, гомеостатичность (H_{om}), селекционную ценность (Sc) – по В. В. Хангильдину⁵, относительную стабильность (St^2) и критерий стабильности (A) – по Н. А. Соболеву⁶, коэффициент мультипликативности (КМ) – по В. А. Драгавцеву⁷. Статистическую обработку данных урожайности и ранжирование материала по величине параметров адаптивности и пластичности проводили по Б. А. Доспехову⁸, при этом лучшему показателю соответствовала единица.

Результаты и их обсуждение. Главным критерием достоинства сорта является его продуктивность. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа данных по урожайности селекционных линий яровой мягкой пшеницы выявили достоверность различий между эффектами генотипов, среды и их взаимодействия ($F_{\phi} > F_T$). Установлено, что основным фактором, влияющим на формирование продуктивности, в наших исследованиях являлись условия внешней среды – 51,5 %, роль генотипа составила 11,5 % (табл. 1).

В результате исследований определен индекс условий среды (I_j), который показывает влияние средовых ситуаций на реализацию потенциала продуктивности линий яровой пшеницы в определенном году. Наиболее благоприятные условия для развития культуры сложились в 2022 году ($I_j = 0,50$) – средняя урожайность линий составила 5,69 т/га, что на 17,9 % больше 2021 года с менее благоприятными условиями ($I_j = -0,52$). В 2022 году наибольшей урожайностью обладали линии 21-17 и 2-17 – 6,05 и 6,24 т/га соответственно (табл. 2).

¹Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методика экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Омск, 2008. 35 с.

²Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник Россельхозакадемии. 2005;(6):49–53.

³Грязнов А. А. Карабалыкский ячмень. Кустанай, 1996. 448 с.

⁴Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качество зерна. Вестник сельскохозяйственной науки. 1985;(1):66–73.

⁵Хангильдин В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытании колосковых культур. Научно-технический бюллетень ВСГИ. 1986;(2(60)):36–41.

⁶Соболев Н. А. Проблема отбора и оценки селекционного материала. Киев, 1980. С. 100–106.

⁷Драгавцев В. А., Цильке В. А., Рейтер Б. Г. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири. Новосибирск, 1984. 229 с.

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

Таблица 1 – Результаты дисперсионного анализа по влиянию изучаемых факторов и их взаимодействия на урожайность линий яровой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании (2021–2022 гг.) /
Table 1 – Results of analysis of variance on the influence of the studied factors and their interaction on the yield of spring soft wheat lines in competitive variety testing (2021–2022)

Источник варьирования / Source of variation	Сумма квадратов (SS) / Sum of squares (SS)	Степень свободы (DF) / Degree of freedom (DF)	Средний квадрат (MS) / The middle square (MS)	$F_{\text{факт}} /$ F_{fact}	$F_m /$ F_t	Доля влияния фактора, % / The share of the factor's influ- ence, %
Общее / General	39,54	144	-	-	-	100,0
Повторение / Repetition	0,83	3	-	-	-	-
Фактор А (генотип) / Factor A (genotype)	4,55	8	0,57	9,5*	1,9	11,5
Фактор В (среда) / Factor B (environment)	20,37	3	6,79	113,2*	2,7	51,5
Взаимодействие А х В / Interaction A х B	7,96	24	0,33	5,5*	1,6	20,1
Остаток / Remains	5,83	106	0,06	-	-	-

*Статистически значим при уровне вероятности $P \geq 0,95$ /

*Statistically significant at $P \geq 0.95$

Таблица 2 – Урожайность линий яровой мягкой пшеницы, т/га (2020–2023 гг.) /
Table 2 – Productivity of spring soft wheat lines, t/ha (2020–2023)

Сорт, линия / Variety, line	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее ($\bar{X} \pm m$) / Average ($\bar{X} \pm m$)	Коэффициент вариации (CV), % / Coefficient of variation (CV), %
Агата, ст. / Agatha, st.	4,64	4,72	5,75	4,88	5,00±0,28	11,2
21-17	5,42	4,77	6,05	4,95	5,30±0,29	11,0
2-17	5,33	4,92	6,24	5,00	5,37±0,32	11,9
1-17	5,48	4,85	5,45	5,13	5,23±0,15	5,8
465 -17	5,71	4,71	5,13	5,22	5,19±0,21	7,9
290-17	5,11	4,53	5,84	5,00	5,12±0,27	10,7
428 -17	5,20	4,60	5,80	5,28	5,22±0,25	9,4
259-17	5,42	4,34	5,36	5,28	5,10±0,26	10,2
531 -17	5,49	4,62	5,58	5,05	5,19±0,22	8,5
Среднее по опыту / Average by experiment	5,31	4,67	5,69	5,09	5,19±0,21	-
Индекс условий среды / Environmental conditions index	+0,12	-0,52	+0,50	-0,10	-	-

Коэффициент вариации урожайности указывает на фенотипическую изменчивость признака, обусловленную экологическими факторами [11]. Вариабельность урожайности у линий находилась в пределах 5,8–11,9 %. Слабой изменчивостью данного признака обладали линии 1-17; 465-17 и 531-17.

Важной характеристикой адаптивных свойств сорта и его пластичности является

показатель стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$), который указывает на диапазон приспособительных возможностей. У линий он варьировал от -0,63 до -1,32. Линии 1-17; 465-17 и 531-17 обладали наибольшей устойчивостью к стрессу (-0,63, -1,0), для них характерна высокая стабильность урожая (σ^2_d) – 0,27–0,65 и наименьшее снижение его в неблагоприятных условиях (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели адаптивности, пластичности и стабильности линий яровой мягкой пшеницы (2020–2023 гг.) /
Table 3 – Indicators of adaptability, plasticity and stability of spring soft wheat varieties and lines (2020–2023)

Сорт, линия / Variety, line	$Y_{\min} - Y_{\max}$	$(Y_{\max} + Y_{\min})/2$	ПУСС, %	Sc	H_{om}	St^2	A	ИЭП	b_i	σ^2_d	KM
Агата, ст. / Agatha, st	-1,11	5,20	100	4,03	8,7	0,94	2,11	0,96	0,90	0,46	1,97
21-17 /	-1,28	5,41	114	4,17	13,7	0,94	2,23	1,02	1,29	0,85	2,27
2-17	-1,32	5,58	108	4,23	5,5	0,92	2,23	1,03	1,29	0,81	2,26
1-17	-0,63	5,17	212	4,63	18,3	0,98	2,27	1,01	0,64	0,27	1,60
465-17	-1,00	5,21	152	4,28	8,9	0,97	2,24	1,01	0,51	0,41	1,50
290-17	-1,31	5,19	109	3,97	7,1	0,94	2,20	0,99	1,25	0,78	2,22
428-17	-1,20	5,20	129	4,14	8,0	0,95	2,23	1,01	1,11	0,72	2,09
259-17	-1,08	4,88	113	4,09	8,0	0,95	2,19	0,98	1,00	0,87	2,02
531-17	-0,96	5,10	140	4,29	5,0	0,96	2,23	1,00	1,00	0,65	2,00
Среднее, (X) / Average, (X)	-1,10	5,22	131	4,20	9,2	0,95	2,21	1,00	1,00	0,65	1,98
Ошибка средней / Error from the average	0,07	0,06	11,6	0,06	1,40	0,006	0,02	0,34	0,09	0,07	0,09

Примечания: Y_{\min} – урожайность минимальная; Y_{\max} – урожайность максимальная; $(Y_{\min} - Y_{\max})$ – стрессоустойчивость; $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ – генетическая гибкость; ПУСС – показатель уровня стабильности сорта; Sc – селекционная ценность; H_{om} – гомеостатичность; St^2 – относительная стабильность сорта; A – критерий стабильности; ИЭП – индекс экологической пластичности; b_i – коэффициент линейной регрессии; σ^2_d – стабильность; KM – коэффициент мультипликативности /

Notes: Y_{\min} – minimum yield; Y_{\max} – maximum yield; $(Y_{\min} - Y_{\max})$ – stress resistance; ПУСС – indicator of the stability level of the variety; Sc – breeding value; H_{om} – homeostaticity; St^2 – relative stability of the variety; A – stability criterion; ИЭП – environmental plasticity index; b_i – linear regression coefficient; σ^2_d – stability; KM – multiplicative coefficient

Показатель генетическая гибкость $((Y_{\max} + Y_{\min})/2)$ отражает среднюю урожайность в контрастных условиях среды и определяет степень соответствия генотипа сорта достаточному разнообразию погодных и агротехнических условий. Линии 2-17 и 21-17 формировали самый высокий максимальный уровень продуктивности (Y_{\max}) 6,24 и 6,05 т/га, у них выявлено наиболее оптимальное соотношение между генотипом и внешними факторами среды, показатель генетической гибкости составил 5,58 и 5,41 т/га соответственно.

Мерой гомеостаза генотипа служит его способность получения не только максимальной, но и устойчивой величины урожая в различных условиях возделывания. Для ее определения проведен расчет показателей селекционной ценности (Sc), уровня стабильности сорта (ПУСС) и гомеостатичности (H_{om}). По степени гомеостатичности выделилась линия 1-17 (Sc – 4,63, ПУСС – 212 %, H_{om} – 18,3), данные показатели превышают среднесортные значения на 10,2 %, 81,0 абс. % и 98,9 % соответственно.

Высокими показателями уровня стабильности сорта (ПУСС), селекционной ценностью (Sc) и слабой изменчивостью продуктивности (CV) обладают линии 465-17 (152 %; 4,28; 7,9) и 531-17 (140 %; 4,29; 8,5).

Высокие значения относительной стабильности (St^2) и критерия стабильности (A) свидетельствуют о лучшем сочетании у селекционных линий признаков урожайности и стабильности. По критерию стабильности все линии находятся примерно на одном уровне (более 2,0) и значения показателей относительной

стабильности приближаются к единице, что характеризует линии как стабильные.

Все селекционные линии по индексу экологической пластичности (ИЭП) практически не имели различий, показатель составил 0,96–1,03.

Показатель экологической пластичности (b_i) определяет уровень модификационной изменчивости урожая к внешним условиям среды. У изучаемых линий прослеживалась сильная дифференциация по коэффициенту линейной регрессии (b_i) – 0,51–1,29. Линии 21-17; 2-17; 290-17 и 428-17 с $b_i > 1$, согласно методике S. A. Eberhart и W. A. Russell, проявили высокую отзывчивость на улучшение условий среды и требовательны к высокому уровню агротехники. Их необходимо возделывать по высокоинтенсивным технологиям, которые будут способствовать более полному раскрытию потенциальных возможностей. Линии 465-17 и 1-17 (b_i – 0,51 и 0,64 соответственно) слабо реагировали на внешние факторы, чем весь набор изучаемых генотипов, для этих линий будут эффективны экстенсивные технологии возделывания, где они при минимальных затратах могут дать максимально стабильную отдачу. Урожайность линий 259-17 и 531-17 ($b_i = 1,0$) изменялась в полном соответствии с изменением условий выращивания. Критерий Стьюдента (при $t_{05} = 2,31$) позволил разграничить

материал по значениям b_i на 3 группы: в первую вошли линии 21-17; 2-17 и 290-17 (значимо >1); во вторую – 1-17 и 465-17 (значимо <1); в третью – оставшиеся (не отличаются от 1).

Показатель стабильности (σ^2_d) сильно варьирует в пределах изучаемого материала, у линий 1-17; 465-17 и сорта Агата выявлена более высокая стабильность – 0,27–0,46, низкая у линий 2-17; 21-17 и 259-17 – 0,81–0,87.

Для определения пластичности линий использован коэффициент мультипликативности (КМ). По данному показателю линиям 465-17, 1-17 и сорту Агата свойственна слабая отзывчивость на условия среды (1,50–1,97), линиям 531-17, 259-17 и 428-17 – средняя (2,00–2,09), линиям 290-17, 2-17 и 21-17 – высокая отзывчивость (2,22–2,27).

Для полного анализа полученной информации провели ранжирование значений параметров адаптивности и экологической пластичности для каждого селекционного номера (наиболее высокий ранг – первый, преимуществом обладают образцы с низкой суммой рангов).

Комплексный рейтинг по совокупности всех признаков: продуктивности, адаптивности, пластичности и гомеостатичности выявил, что в данных исследованиях линии 1-17; 465-17 и 21-17 являются лучшими (рис.).

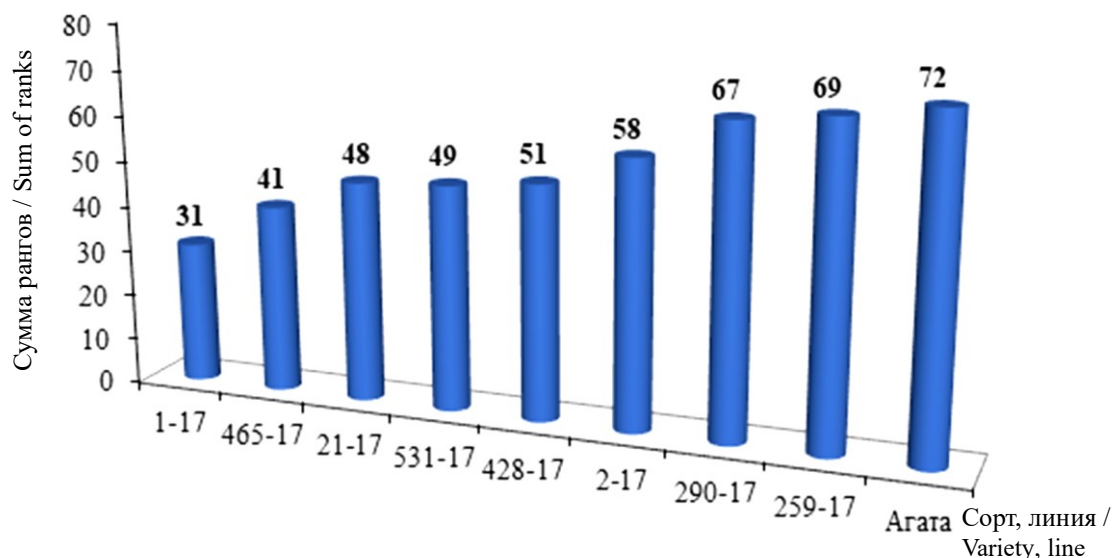


Рис. Распределение линий яровой мягкой пшеницы по сумме рангов параметров адаптивности и пластичности /

Fig. Distribution of spring soft wheat lines by the sum of the ranks of adaptability and plasticity parameters

Заключение. На основании проведенных исследований (2020–2023 гг.) определен уровень адаптивных свойств у линий яровой мягкой пшеницы при возделывании в условиях Рязанской области. Выделена линия 21-17

с урожайностью 5,30 т/га, обладающая высокой генетической гибкостью $(Y_{\max} + Y_{\min})/2$ – 5,41, гомеостатичностью (H_{om}) – 13,7 и отзывчивостью на улучшения условий выращивания ($b_i = 1,29$, КМ – 2,27). Высокий рейтинг

по сумме рангов параметров адаптивности и пластичности отмечен у линий 1-17 и 465-17: стрессоустойчивость ($Y_{\min} - Y_{\max}$) – -0,63 и -1,0; селекционная ценность (Sc) – 4,63 и 4,28; уровень стабильности сорта (ПУСС) – 212 и 152 %; вариабельность (CV) – 5,8 и 7,9 % и стабильность урожайности (σ^2_d) – 0,27 и 0,41 соответственно. Самый низкий рейтинг по

сумме рангов параметров адаптивности и пластичности получил стандартный сорт Агата.

Статистический анализ данных по экологической пластичности (b_i) линий позволил распределить их на группы по уровню отзывчивости на улучшение условий возделывания: 21-17, 2-17, 290-17, 428-17 – интенсивные; 465-17, 1-17 – экстенсивные.

Список литературы

1. Сапега В. А., Турсумбекова Г. Ш. Урожайность, экологическая пластичность и стабильность сортов яровой мягкой и твердой пшеницы в южной лесостепи Тюменской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020;21(2):114–123. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123> EDN: YLOPFG
2. Sun C., Zhang F., Yan X., Zhang X., Dong Z., Cui D., Chen F. Genome-wide association study for 13 agronomic traits reveals distribution of superior alleles in bread wheat from the Yellow and Huai Valley of China. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(8):953–969. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.12690>
3. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Сравнительный анализ нового сорта яровой мягкой пшеницы Арсея с районированными сортами. *Зерновое хозяйство России*. 2022;(1):30–34. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-30-34> EDN: LZXXMZ
4. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. *Сельскохозяйственная биология*. 2016;51(5):617–626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.617rus> EDN: WZJQEN
5. Сапега В. А. Сортное районирование яровой пшеницы и оценка ее сортов по урожайности и адаптивности в Тюменской области. *Зерновое хозяйство России*. 2023;15(4):51–58. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-51-58> EDN: QLVBXK
6. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцев В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье). *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(1):81–97. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2022.1.81.rus> EDN: DAYGED
7. Новикова А. А., Гречишкина О. С., Емельянова А. А., Пустовалова А. А., Замерзляк М. В. Параметры адаптивности и гомеостатичности сортов ярового ячменя в условиях Оренбургской области. *Земледелие*. 2022;(8):35–38. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-35-38> EDN: FOUUYC
8. Филиппов Е. Г., Брагин Р. Н., Донцов Д. П. Анализ показателей адаптивности сортов и линий ярового ячменя в экологическом сортоиспытании. *Таврический вестник аграрной науки*. 2022;(4(32)):221–230. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982577> EDN: WFBQBI
9. Crossa J., Perez P., Hickey J., Burgueno J., Ornella L., Ceron-Rojas J., Zhang X., Dreisigacker S., Babu R., Li Y., Bonnett D., Mathews K. Genomic prediction in CIMMYT maize and wheat breeding program. *Heredity*. 2014;112(1):48–60. DOI: <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.16>
10. Набатова Н. А., Уткина Е. И., Парфенова Е. С., Шамова М. Г., Псарева Е. А., Жукова М. Н. Сравнительная оценка сортов озимой ржи по экологической устойчивости в условиях Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):655–665. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665> EDN: XZLABR
11. Волкова Л. В., Щеникова И. Н. Сравнительная оценка методов расчета адаптивных реакций зерновых культур. *Теоретическая и прикладная экология*. 2020;(3):140–146. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146> EDN: ORZBYL
12. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):58–65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65> EDN: FTMXHZ
13. Асеева Т. А., Зенкина К. В. Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды. *Юг России: экология, развитие*. 2020;15(1):49–59. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-49-59> EDN: IQPYNJ
14. Сафонова И. В., Анисков Н. И. Эффективность использования некоторых критериев определения адаптивности на примере сортов озимой ржи. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2023;184(2):66–75. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-66-75> EDN: XIWQOG
15. Гребенникова И. Г., Чешкова А. Ф., Стёпочкин П. И., Алейников А. Ф., Чанышев Д. И. Методика оценки экологической пластичности сортов злаковых культур. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2020;50(2):100–108. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-12> EDN: BXIXZT

References

1. Sapega V. A., Tursumbekova G. Sh. Yield, ecological plasticity and stability of spring soft and durum wheat varieties in the southern forest steppe of Tyumen region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):114–123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.114-123>
2. Sun C., Zhang F., Yan X., Zhang X., Dong Z., Cui D., Chen F. Genome-wide association study for 13 agronomic traits reveals distribution of superior alleles in bread wheat from the Yellow and Huai Valley of China. *Plant Biotechnology Journal*. 2017;15(8):953–969. DOI: <https://doi.org/10.1111/pbi.12690>

3. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. The comparative analysis of the new spring bread wheat variety 'Arseya' with the zoned varieties. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2022;(1):30–34. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-79-1-30-34>
4. Rybas' I. A. Breeding grain crops to increase adaptability. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):617–626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>
5. Sapega V. A. Varietal zoning of spring wheat and estimation of its varieties according to productivity and adaptability in the Tyumen region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2023;15(4):51–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-51-58>
6. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. A novel integrative approach to study the dynamics of an increase in common spring wheat adaptivity and homeostaticity (on the example of breeding programs in the Northern Trans-Ural). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(1):81–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.81.rus>
7. Novikova A. A., Grechishkina O. S., Emel'yanova A. A., Pustovalova A. A., Zamerzlyak M. V. Parameters of adaptability and homeostasis of spring barley varieties under the conditions of the Orenburg region. *Zemledelie*. 2022;(8):35–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-35-38>
8. Filippov E. G., Bragin R. N., Dontsov D. P. Analysis of adaptability indicators of spring barley varieties and lines in the ecological variety testing. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;(4(32)):221–230. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49982577>
9. Crossa J., Perez P., Hickey J., Burgueno J., Ornella L., Ceron-Rojas J., Zhang X., Dreisigacker S., Babu R., Li Y., Bonnett D., Mathews K. Genomic prediction in CIMMYT maize and wheat breeding program. *Heredity*. 2014;112(1):48–60. DOI: <https://doi.org/10.1038/hdy.2013.16>
10. Nabatova N. A., Utkina E. I., Parfenova E. S., Shamova M. G., Psareva E. A., Zhukova M. N. Comparative analysis of winter rye varieties by ecological stability in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):655–665. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.655-665>
11. Volkova L. V., Shchennikova I. N. Comparative evaluation of methods for calculating adaptive responses of cereals. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(3):140–146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-3-140-146>
12. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):58–65. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>
13. Aseeva T. A., Zenkina K. V. Environmental sustainability of triticales to adverse environmental factors. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* = South of Russia: ecology, development. 2020;15(1):49–59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-49-59>
14. Safonova I. V., Anis'kov N. I. The effectiveness of using some criteria for determining adaptability on the example of winter rye cultivars. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2023;184(2):66–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2023-2-66-75>
15. Grebennikova I. G., Cheshkova A. F., Stepochkin P. I., Aleynikov A. F., Chanyshv D. I. Method of assessment ecological plasticity of cereal crop varieties. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(2):100–108. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-2-12>

Сведения об авторах

✉ **Барковская Татьяна Анатольевна**, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, д. 1, с. Подвязье, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Гладышева Ольга Викторовна, директор филиала, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, д. 1, с. Подвязье, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Information about the authors

✉ **Tatyana A. Barkovskaya**, senior researcher, the Department of Breeding and Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, d. 1, s. Podvyazye, Ryazan district, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Olga V. Gladysheva, director of a separate subdivision, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, d. 1, s. Podvyazye, Ryazan district, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

✉ – Для контактов / Corresponding author