

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.739-748>

УДК 633.11:631.559:631.524

Изменчивость и взаимосвязь селекционно-ценных признаков сортов и линий яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья

© 2023. И. Ф. Дёмина ✉

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь, Российская Федерация

В статье представлены результаты трёхлетнего изучения (2020–2022 гг.) 16 сортов и 17 селекционных линий яровой мягкой пшеницы селекции Федерального научного центра лубяных культур в почвенно-климатических условиях Пензенской области. Урожайность в опыте варьировала от 1,77 до 4,15 т/га. Наибольшую урожайность показали семь образцов: Наставник, Эритроспермум 70/04-3, Ирвита, Сенсей, Эритроспермум 20/08-7, Лютеценс 1/12-19, Эритроспермум 15/08-4, превысившие стандартный сорт Архат на 0,27–0,71 т/га. В наших исследованиях урожайность относилась к средневариабельному признаку ($CV = 11,9-19,5\%$). Варьирование продолжительности вегетационного периода изучаемых образцов яровой пшеницы в среднем составило 81–93 суток. Более коротким он был в 2021 году (от 67 до 80 суток), наиболее продолжительным в 2022 году (от 91 до 100 суток). Высота растений яровой мягкой пшеницы в наших исследованиях была низковариабельным признаком ($CV = 3,4-8,5\%$) и составляла в среднем по годам 82,1–100,2 см. Озернённость колоса изменялась от 18 шт. у линии Эритроспермум 25/08-11-18 в 2022 году до 40 шт. у сорта Наставник в 2021 году, признак средневариабельный ($CV = 11,3-18,5\%$). Наибольшая средняя продуктивность колоса получена в 2022 году 1,08 г, наименьшая в 2020 году – 0,92 г. Высокую массу зерна с колоса имели образцы Наставник – 1,40 г, Эритроспермум 70/04-3 – 1,38 г, Ирвита – 1,35 г, которые характеризовались высокой урожайностью. Выделившиеся по урожайности образцы Эритроспермум 70/04-3, Эритроспермум 20/08-7 и Ирвита обладали крупнозёрностью – 40,6–43,2 г. Между урожайностью и массой зерна с растения выявлена значимая корреляционная связь ($r = 0,908...0,924$, $P \leq 0,001$). Изученные закономерности можно будет использовать в экологической селекции яровой мягкой пшеницы.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., урожайность, линия, корреляционная связь, вариация

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS – 2022-0008).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дёмина И. Ф. Изменчивость и взаимосвязь селекционно-ценных признаков сортов и линий яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):739-748. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.739-748>

Поступила: 09.02.2023

Принята к публикации: 05.09.2023

Опубликована онлайн: 30.10.2023

Variability and interrelation of breeding-valuable traits of varieties and lines of spring soft wheat in the conditions of the Middle Volga region

© 2023. Irina F. Demina ✉

Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The article presents the results of a three-year study (2020–2022) of 16 varieties and 17 breeding lines of spring soft wheat bred by the Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops in the soil and climatic conditions of the Penza region. The crop productivity in the experiment varied between 1.77–4.15 t/ha. Seven samples demonstrated the highest productivity: Nastavnik, Eritrospermum 70/04-3, Irvita, Sensei, Eritrospermum 20/08-7, Lutestsens 1/12-19, Eritrospermum 15/08-4, which exceeded the standard variety Arkhat by 0.27–0.71 t/ha. During the studies the yield was related to the average variable trait ($CV = 11.9-19.5\%$). The variation of the duration of the growing season of the studied spring wheat samples averaged 81–93 days. It was shorter in 2021 (from 67 to 80 days), the longest in 2022 (from 91 to 100 days). The height of spring soft wheat plants in the studies was a low-variable feature ($CV = 3.4-8.5\%$) and averaged 82.1–100.2 cm over the years. The ear grain content varied from 18 pieces in the Erythrosperrum 25/08-11-18 in 2022 up to 40 pieces in the Nastavnik variety in 2021. The trait was medium-variable ($CV = 11.3-18.5\%$). The highest average productivity of an ear was noted in 2022 – 1.08 g, and the lowest in 2020 – 0.92 g. The high mass of grain per ear was noted in Nastavnik variety – 1.40 g, Eritrospermum 70/04-3 – 1.38 g, Irvita – 1.35 g, which were characterized by high yield. Eritrospermum 70/04-3, Eritrospermum 20/08-7 and Irvita selected by the genotype productivity were characterized by bulky grains of 40.6–43.2 g. A significant correlation was observed between the yield and the grain weight per plant ($r = 0.908...0.924$, $P \leq 0.001$). The studied patterns can be used in ecological breeding of soft spring wheat.

Keywords: *Triticum aestivum* L., yield, line, correlation, variation

Acknowledgements: 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 Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS – 2022-0008). The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author stated that there was no conflict of interest.

For citation: Demina I. F. Variability and interrelation of breeding-valuable traits of varieties and lines of spring soft wheat in the conditions of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023; 24(5):739-748. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.739-748>

Received: 09.02.2023

Accepted for publication: 05.09.2023

Published online: 30.10.2023

Пшеница считается важной продовольственной и кормовой культурой. В мире она занимает лидирующее место (около 39 %) по посевным площадям среди возделываемых культур. Такое широкое распространение объясняется высокой питательностью зерна пшеницы, возможностью его разностороннего использования и переработки [1]. Российская Федерация занимает лидирующую позицию по выращиванию и продаже зерна пшеницы в другие страны, поэтому производство зерна в необходимом объёме является одним из основных факторов стабилизации экономики России.

Для увеличения валовых сборов зерна необходимо создавать сорта с высоким потенциалом продуктивности, имеющих максимально высокую степень её реализации независимо от складывающихся лимитов среды [2, 3]. Основные направления селекции пшеницы в Средневолжском регионе, в который входит Пензенская область, обусловлены агроклиматическими особенностями (засухой в критические периоды развития растений, расовым и видовым составом патогенов) и спросом товаропроизводителей. Сорта яровой пшеницы, адаптированные к условиям региона, могут давать высокие урожаи (до 5,0 т/га) [4, 5].

Длительность вегетационного периода определяет пригодность сорта культуры к возделыванию в конкретной климатической зоне. В годы с обильным увлажнением и прохладной в течение вегетационного периода погодой происходит полегание растений, поражение различными видами ржавчины (бурой и стеблевой) и мучнистой росой [6, 7]. В такие годы недобор положительных температур удлинит вегетационный период растений пшеницы, что пагубно сказывается на сроках созревания, своевременной уборке и качестве урожая. Следовательно, учитывая особенности местного климата, основным направлением селекции является создание засухоустойчивых и в то же время отзывчивых на хорошее увлажнение пластичных, со стабильной урожайностью сортов яровой пшеницы среднераннего, среднеспелого и среднепозднего типов созревания.

Повышение урожайности зерна пшеницы является приоритетной целью при его производстве. Урожайность считается полигенным признаком, который обусловлен генетической природой сорта, изменяется под влиянием условий внешней среды и формируется множественными показателями. Основные из них – число продуктивного стеблестоя на 1 м² и масса зерна с колоса. Первый показатель зависит от норм высева, полевой всхожести, сохранившихся к уборке растений, засухоустойчивости и т. д., второй – от длины колоса, количества зерен в колосе и массы 1000 зёрен [8]. Необходимым этапом селекционной работы с пшеницей является выявление степени изменчивости некоторых хозяйственно ценных признаков и установление корреляционных взаимосвязей между ними. Во-первых, уровень связи влияет на эффективность косвенного отбора, который незаменим на первоначальных этапах селекционного процесса. Во-вторых, направление и уровень корреляций определяет необходимость отбора по комплексу признаков. В-третьих, корреляционный анализ необходим, чтобы обосновать модели сортов пшеницы и выделить признаки, которые вносят максимальный вклад в формирование урожайности или её элементов в конкретных экологических условиях. В связи с продолжающимися изменениями климата, учитывая, что температурный режим и количество выпавших осадков считаются основными факторами, определяющими урожайность пшеницы, данная работа особенно актуальна [9, 10].

Цель исследований – изучить изменчивость и взаимосвязи селекционно ценных признаков сортов и селекционных линий яровой мягкой пшеницы для выделения перспективных образцов в условиях Среднего Поволжья.

Новизна исследований – изучение особенностей изменчивости признаков, связанных с развитием и формированием элементов продуктивности яровой мягкой пшеницы, даёт возможность выделить перспективный селекционный материал для условий Среднего Поволжья.

Материал и методы. Исследования проводили в 2020-2022 гг. на материально-технической базе Пензенского НИИСХ (обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур») в лаборатории селекционных технологий. Объектом изучения служили 16 сортов и 17 линий яровой мягкой пшеницы конкурсного сортоиспытания (стандарт – сорт Архат). Почва опытного участка чернозём выщелоченный среднесиловый тяжёло-суглинистый. Пахотный горизонт имеет мощность 35-40 см. Реакция почвенного раствора слабокислая – $pH_{\text{сол}} 5,8$. Агрохимические показатели: содержание гумуса – 6,52 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91¹); подвижного фосфора – 157 мг/кг и K_2O – 176 мг/кг почвы (по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011)².

В полевых опытах использовали агротехнические мероприятия, общепринятые для лесостепной зоны. Посев проводили сеялкой СН-10Ц в оптимальные для яровой пшеницы сроки (первая декада мая). Предшественник – чистый пар. Повторность опытов – 6-кратная, площадь делянки 10 м², норма высева 5,5 млн всхожих семян на 1 га. В качестве стандарта

был взят районированный сорт Архат. Анализ структуры урожая выполняли по методике Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур³. Статистическую обработку данных проводили методами однофакторного дисперсионного, вариационного и корреляционного анализов по Б. А. Доспехову⁴ с использованием пакета программ Microsoft Excel 2010.

Климат Пензенской области умеренно-континентальный. Континентальность постепенно возрастает с запада на восток. Наиболее тёплым месяцем является июль со средней температурой 19,1...19,8 °С, самым холодным январь с температурой -11,3...-13,3 °С. Продолжительность активного роста сельскохозяйственных культур (с температурой выше 10 °С) – 135...147 дней, сумма активных температур – 2100-2400 °С. Распределение тепла и влаги крайне неравномерное как по годам, так и в течение всего вегетационного периода. Годы исследований характеризовались разнообразными условиями по увлажнению и температурному режиму в период вегетации мягкой яровой пшеницы (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристика межфазных периодов вегетации яровой мягкой пшеницы (2020-2022 гг.) /
Table 1 – Characteristics of interphase periods of spring soft wheat vegetation (2020-2022)

Показатель / Index	Год / Year	Посев-всходы / Sowing-shoots	Всходы- колошение / Shoots-earing	Колошение- созревание / Earing- maturation	Всходы- созревание / Shoots- maturation
Температура воздуха, °С / Air temperature, °C	2020	13,8	14,6	19,2	16,9
	2021	19,9	19,3	22,8	21,2
	2022	8,8	12,9	20,4	17,0
	Среднегодовое / Average long-term annual	13,9	17,4	20,8	19,1
Осадки, мм / Precipitation, mm	2020	14,6	87,6	98,1	185,7
	2021	10,2	30,8	113,7	144,5
	2022	2,0	103,2	90,0	193,2
	Среднегодовое / Average long-term annual	9,9	99,3	106,5	205,8
ГТК / HTC	2020	1,05	1,12	1,11	1,11
	2021	0,51	0,36	1,19	0,85
	2022	0,30	1,20	1,06	1,10
	Среднегодовое / Average long-term annual	0,90	1,20	1,10	1,20

¹ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества (по Тюрину) М.: Стандартинформ, 1993. 7 с.

²ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.

³Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1985. Вып.1, 2. 267 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов. М.: 1985, 351 с.

В 2020 году первая половина вегетационного периода характеризовалась недостатком тепла и избытком влаги, что привело к задержке развития растений пшеницы. Однако в дальнейшем рост температуры и достаточное количество осадков способствовали нормальному формированию элементов продуктивности. Большое количество осадков и неравномерное их распределение во второй половине вегетации вызвало полегание посевов и растянуло сроки уборки. Вегетационный период в среднем по испытываемым сортам и линиям яровой пшеницы составил 94 суток.

Вегетация растений яровой пшеницы в 2021 году протекала в засушливых условиях, что привело к сокращению сроков созревания. В среднем вегетационный период составил 76 суток, что на 12-20 суток меньше среднепогодных данных. Во второй половине вегетации наблюдали высокий температурный режим, который сопровождался большим количеством осадков. Неравномерное их распределение в виде ливневых дождей со шквалистым ветром привело к частичному полеганию яровой пшеницы, что затруднило её уборку.

Погодные условия 2022 года сложились благоприятными для роста и развития яровой пшеницы. Достаточное увлажнение и умеренная среднесуточная температура воздуха в первой половине вегетации положительно повлияли на продуктивность колоса, зерновую и биологическую урожайность. Вторая половина вегетации пшеницы протекала на фоне высоких температур воздуха и небольшого количества осадков. Выпадение осадков носило неравномерный характер и сопровождалось сильными ветрами, что привело к полеганию растений пшеницы. Вегетационный период в среднем составил 96 суток, что на 1-8 суток больше среднепогодных данных.

Результаты и их обсуждение. При выведении новых сортов следует добиваться сочетания хозяйственно полезных признаков на высоком и оптимальном уровнях, изучая при этом корреляционные взаимодействия между ними.

Урожайность считается сложным количественным признаком, суммарным итогом результатов роста и развития растений в течение вегетационного периода. В опыте она варьировала от 1,77 до 4,15 т/га. Наибольшую урожайность показали семь образцов: Наставник, Эритроспермум 70/04-3, Ирвита, Сенсей, Эритроспермум 20/08-7, Лютесценс 1/12-19,

Эритроспермум 15/08-4. В наших исследованиях урожайность относилась к средневарибельному признаку ($CV = 11,9-19,5\%$). Относительно низкий коэффициент вариации отмечен у линий Эритроспермум 70/04-3, Лютесценс 1/12-19 и Эритроспермум 15/08-4.

В 2020 году установлена существенная зависимость урожайности изучаемых образцов яровой мягкой пшеницы от продуктивного стеблестоя, высоты растений, массы зерна с колоса, количества зёрен в колосе, числа колосков в колосе и длины верхнего междоузлия. Другие элементы структуры имели низкие показатели корреляции с урожайностью. В 2021 году выявлена высокая корреляционная связь урожайности с массой зерна с колоса, средняя – с количеством зёрен в колосе и продуктивным стеблестоем, длиной колоса и числом колосков в колосе. В 2022 году продуктивность колоса также имела высокое влияние на урожайность. Корреляционная связь средней величины отмечена с массой 1000 зёрен, высотой растений, продуктивным стеблестоем, количеством колосков в колосе и зерен в колосе.

Расчёт генотипических коэффициентов корреляций для средних значений пар признаков (2020-2022 гг.) показал, что урожайность образцов яровой пшеницы на генотипическом уровне имела сильную достоверную связь с массой зерна с колоса, среднюю – с озернённостью колоса, продуктивным стеблестоем, высотой растения и длиной колоса (табл. 2).

Считается, что продолжительность вегетационного периода определяет ряд сортовых свойств, которые позволяют избежать воздействия абиотических и биотических стрессоров на растения, а также получить зерно различного качества. В наших исследованиях вегетационный период у изучаемых образцов яровой пшеницы в среднем составил 81-93 суток. Анализ данных опыта показал, что по длительности периода вегетации имеются различия: более коротким он был в 2021 году – от 67 до 80 суток, наиболее продолжительным в 2022 году – от 91 до 100 суток.

Период «всходы-колошение» у изучаемых образцов варьировал от 30 до 56 суток, что связано с генетической разнородностью селекционного материала и реакцией конкретного сорта на условия выращивания. В 2021 году его продолжительность была наименьшей – от 30 до 41 суток (в среднем 37 суток), в 2022 году наибольшей – от 48 до 57 суток (в среднем 54 суток). В среднем за три года продолжительным

периодом «всходы-колошение» выделились сорт Наставник и линия Лютеценс 1/12-19 (50 суток), что позволило увеличить период формирования генеративных органов и способствовало росту урожайности (3,65 и 3,32 т/га соответственно). Коротким периодом (41 сутки)

характеризовались сорт Новосибирская 15 и линия Лютеценс 38/08-9, урожайность которых составила 2,59 и 3,38 т/га соответственно. Увеличение продолжительности периода «всходы-колошение» оказало положительное влияние на урожайность яровой мягкой пшеницы.

Таблица 2 – Парные коэффициенты фенотипической (r) и генотипической (r_g) корреляции урожайности яровой мягкой пшеницы с хозяйственно ценными признаками /

Table 2 – Paired coefficients of phenotypic (r) and genotypic (r_g) correlation of spring soft wheat yields with agronomic traits

Показатель / Indicator	2020 год	2021 год	2022 год	r(g)
	r			
Количество продуктивного стеблестоя, шт/м ² / Number of productive stems, pcs/m ²	0,565±0,164**	0,622±0,135***	0,498±0,162**	0,528±0,161**
Высота растений, см / Plant height, cm	0,419±0,163**	0,074±0,179	0,520±0,161**	0,515±0,149**
Длина верхнего междоузлия, см / The length of the upper internode, cm	0,344±0,168*	0,168±0,175	0,405±0,163*	0,395±0,174*
Длина колоса, см / The length of the ear, cm	0,155±0,177	0,459±0,160**	0,379±0,175*	0,503±0,162**
Количество колосков в колосе, шт. / Number of spikelets per ear, pcs	0,358±0,192*	0,429±0,161**	0,398±0,171*	0,482±0,157**
Количество зёрен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs	0,366±0,167*	0,672±0,133***	0,573±0,163**	0,560±0,159**
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	0,475±0,158**	0,711±0,126***	0,774±0,120***	0,752±0,118***
Масса 1000 зёрен, г / 1000 grain weight, g	0,211±0,175	0,144±0,173	0,576±0,160**	0,433±0,162**
Продолжительность периода, сут / Duration of the period, days				
«всходы-колошение» / "shoots-earring"	0,456±0,160***	0,423±0,161**	0,587±0,158**	0,445±0,161**
«колошение-восковая спелость» / "earring-wax ripeness"	0,322±0,170*	0,012±0,180	0,346±0,173*	0,122±0,215
Продолжительность вегетационного периода, сут / Duration of the growing season, days	0,299±0,171	0,130±0,178	0,388±0,174*	0,352±0,193*

*Существенно при $P \leq 0,05$; ** при $P \leq 0,01$; *** при $P \leq 0,001$ /

*Significant at $P \leq 0.05$; ** at $P \leq 0.01$; *** at $P \leq 0.001$

По мнению учёных, высота растений – это сложный признак, подверженный сильной модификационной изменчивости под влиянием условий среды [11]. В наших опытах у яровой мягкой пшеницы высота растений составила в среднем по годам 82,1-100,2 см. Известно, что на высоту растений оказывают влияние количество выпавших осадков или, точнее, сроки их выпадения [12]. Наибольшие показатели высоты растений были отмечены в 2022 году (89-110 см) в условиях нормального увлажнения в фазу «колошение». Наименьшие

показатели выявлены в 2021 году (71,5-95,6 см) при аномально засушливых условиях (табл. 3).

По данным анализа фенотипической изменчивости, высота растений в наших исследованиях была низковариабельным признаком ($CV = 3,4-8,5\%$), имела сильную достоверную корреляцию с массой зерна с колоса и растения ($r = 0,732$, $r = 0,754$ соответственно). Связь средней величины выявлена с длиной колоса ($r = 0,635$), количеством колосков в колосе ($r = 0,474 \dots 0,533$), количеством зёрен с колоса и растения ($r = 0,573 \dots 0,584$, $r = 0,459 \dots 0,572$ соответственно), массой 1000 зёрен ($r = 0,532 \dots 0,576$).

Таблица 3 – Характеристика высокопродуктивных сортов и линий яровой мягкой пшеницы оптимальной высоты (2020–2022 гг.) /
Table 3 – Characteristic highly productive varieties and lines of spring soft wheat, optimal height (2020–2022)

Сорт, линия / Variety, line	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Отклонение от стандарта, т/га / Deviation from the standard t/ha	Размах урожайности min-max, т/га / Yield range, min-max, t/ha	Коэффициент вариации, % / Coefficient of variability, %	Высота растений, см / Plant height, cm	Длина верхнего междоузлия, см / The length of the upper internode, cm
Архат, ст. / Arkhat, st	2,90	-	2,70–3,18	15,2	90,8	43,2
Наставник / Nastavnik	3,61	+0,71	2,45–4,60	20,2	87,1	42,2
Сенсей / Sensei	3,67	+0,77	3,07–4,27	18,9	89,2	41,4
Ирвита / Irvita	3,17	+0,27	2,73–3,36	16,3	98,6	48,5
Эритроспермум 70/04-3 / Erythrospermum 70/04-3	3,34	+0,44	3,04–3,57	11,5	91,7	46,1
Эритроспермум 20/08-7 / Erythrospermum 20/08-7	3,12	+0,22	2,68–3,45	13,5	94,5	41,4
Лютесценс 1/12-19 / Lutescens 1/12-19	3,32	+0,42	2,92–3,54	11,7	85,9	41,5
Эритроспермум 15/08-4 / Erythrospermum 15/08-4	3,29	+0,39	2,95–3,38	11,2	88,0	38,5
Среднее по опыту / Average by experience	3,32	+0,46	-	14,8	90,7	42,8
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,17	-	-	-	1,6	-

Длина верхнего междоузлия определяет высоту растения. Многие учёные отмечают значительное влияние на величину этого показателя средовых факторов, особенно неблагоприятных условий среды, длина верхнего междоузлия прямо или косвенно оказывает влияние на урожайность и засухоустойчивость растений [13, 14, 15]. В наших исследованиях длина верхнего междоузлия растений яровой мягкой пшеницы в 2020 году составила 43,4 см, в 2021 году (в засушливых условиях) – 32,4 см, в 2022 году (в благоприятных по увлажнению) – 52,4 см.

В засушливый 2021 год у высокопродуктивных (3,07–3,40 т/га) образцов Сенсей, Ирвита, Эритроспермум 70/04-3, Лютесценс 1/12-19 и Эритроспермум 20/08-7 длина верхнего междоузлия достигала 31,4...42,2 см. Данные образцы можно отнести к засухоустойчивым. За период исследований длина верхнего междоузлия характеризовалась средней степенью изменчивости (CV = 10,5–11,2 %). Сильная корреляционная связь отмечена с высотой растений ($r = 0,850...0,901$) и массой зерна с колоса ($r = 0,724...0,735$). Среднюю связь наблюдали с длиной колоса ($r = 0,518...0,542$), количеством зёрен в колосе ($r = 0,463...0,505$), массой зерна с растения ($r = 0,512...0,582$) и массой 1000 зёрен ($r = 0,576...0,584$).

Количество продуктивных стеблей считается одним из основных элементов, слагающих урожайность яровой мягкой пшеницы. По данным наших исследований, за три года продуктивный стеблестой изменялся в пределах от 428 до 548 шт/м². Среднее значение признака в 2020 году – 515 шт/м², в 2021 году – 472, 2022 году – 535 шт/м². Значительное количество продуктивного стеблестоя было сформировано у образцов Наставник, Эритроспермум 70/04-3, Ирвита, Лютесценс 1/12-19 – 528, 519, 515, 506 шт/м² соответственно (табл. 4). Данный показатель относится к сильно варьирующим (CV = 20,5...26,4 %). Средняя корреляционная связь была выявлена с озёрненностью и продуктивностью колоса ($r = 0,542$, $r = 0,502$ соответственно).

Таблица 4 – Анализ элементов продуктивности образцов яровой мягкой пшеницы (2020–2022 гг.) /
Table 4 – Analysis of productivity elements of spring soft wheat samples (2020–2022)

Сорт, линия / Variety, line	Количество продуктивного стеблестоя, шт./м ² / Number of productive stems, pcs/m ²		Длина колоса, см / The length of the ear, cm		Количество зёрен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs		Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g		Масса 1000 зёрен, г / 1000 grain weight, g	
	\bar{x}	CV*, %	\bar{x}	CV*, %	\bar{x}	CV*, %	\bar{x}	CV*, %	\bar{x}	CV*, %
Архат, ст. / Arkhat, st.	507	24,5	8,0	9,3	38,5	17,2	1,30	16,4	38,5	24,5
Наставник / Nastavnik	528	22,3	9,1	9,0	40,8	11,2	1,40	12,4	40,0	22,3
Ирвита / Irvita	515	24,6	7,9	8,6	32,4	11,8	1,35	21,3	42,0	21,5
Эритроспермум 70/04-3 / Erythrospermum 70/04-3	519	23,5	7,4	8,0	32,4	13,5	1,38	20,8	43,2	20,8
Эритроспермум 20/08-7 / Erythrospermum 20/08-7	495	24,2	7,2	8,5	31,9	16,6	1,32	18,9	40,6	24,5
Лютеценс 1/12-19 / Lutescens 1/12-19	506	23,9	8,0	8,7	30,8	15,2	1,33	19,3	39,8	28,1
Эритроспермум 43/08-9 / Erythrospermum 43/08-9	500	25,4	8,0	9,2	31,6	12,5	1,31	20,5	40,8	26,7
Среднее по опыту / Average by the experiment	509,0±22,5	-	7,80±0,15	-	33,9±3,7	-	1,34±0,21	-	40,4±4,2	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	2,2	-	0,5	-	3,2	-	0,20	-	4,9	-
Min-max	435-524		6,8-9,5		19,3-34,7		0,70-1,40		31,5-46,7	
CV**, %	20,5-26,4		7,8-10,5		11,3-18,5		15,6-20,2		20,8-27,8	

* Паратипический коэффициент вариации / * Paratyptic coefficient of variation; ** Генотипический коэффициент вариации / ** Genotypic coefficient of variation

Косвенными показателями засухоустойчивости генотипов в Поволжье считаются высота растения, длина верхнего междоузлия и продолжительность периода «всходы-колошение», т. к. данные признаки характеризуют состояние метаболизма и ростовые процессы растения, главным образом до фаз «колошение» и «цветение» пшеницы [16].

Длина колоса считается сортовым признаком, который имеет незначительную связь с урожайностью [17]. За годы наших исследований она изменялась от 5,2 см у линии Эритроспермум 25/08-11-18 до 9,5 см у сорта Наставник, обладала низкой вариабельностью (CV = 7,8...10,5 %). Установлена сильная корреляционная связь длины колоса с количеством колосков в колосе ($r = 0,806...0,936$), количеством зёрен с колоса ($r = 0,637...0,889$) и растения ($r = 0,695...0,827$), массой зерна с колоса ($r = 0,669...0,824$) и растения ($r = 0,721...0,808$).

Озернёность колоса изменялась от 18 штук у линии Эритроспермум 25/08-11-18 в 2022 году до 40 штук у сорта Наставник в 2021 году. Признак средневариабельный (CV = 11,3-18,5 %). Относительно меньший коэффициент вариации отмечен у сорта Ирвита (CV = 10,2-13,4 %) и линии Эритроспермум 43/08-9 (CV = 11,8-13,7 %). Сильная корреляция озернёности колоса отмечена с количеством зёрен с растения ($r = 0,859...0,904$), массой зерна с колоса ($r = 0,830...0,857$) и с растения ($r = 0,783...0,803$).

Признак «масса зерна с колоса» можно считать самым значимым элементом структуры урожая, которому в селекционной практике отводится ведущее место. Главный принцип работы многих селекционеров – это отбор нового селекционного материала по колосу [18]. Наибольшее среднее групповое значение массы зерна с колоса получено в 2022 году (1,18 г), наименьшее – в 2020 году (0,92 г). Продуктивность колоса изменялась от 0,72 г в 2020 году у линии Эритроспермум 25/08-11-18 до 1,52 г в 2022 году у Эритроспермум 70/04-3. Высокую массу зерна с колоса имели образцы Наставник (1,40 г), Эритроспермум 70/04-3 (1,38 г), Ирвита (1,35 г), при продуктивности колоса стандарта Архат – 1,30 г. Перечисленные образцы характеризовались высокой урожайностью. Степень изменчивости данного признака находилась в интервале от 15,6 до 20,2 %. (средневариабельный). Относительно низкой вариабельностью выделился сорт Наставник ($CV = 11,6...13,2$ %). Значимая корреляционная связь наблюдалась с массой зерна с растения ($r = 0,908...0,924$).

Масса 1000 зёрен является надёжным показателем при отборе растений на урожайность, который в годы исследований в зависимости от сорта изменялся от 31,5 до 46,7 г. По степени выполненности зерна можно судить об уровне приспособленности различных образцов к жёстким условиям среды в период налива и созревания. Высокие показатели по

признаку «масса 1000 зерен» сформировали за годы изучения образцы Эритроспермум 70/04-3, Ирвита, Эритроспермум 20/08-7, Эритроспермум 43/08-9 и Лютесценс 38/08-9-17 – 43,2, 42,0, 40,6, 40,8 и 40,2 г соответственно (табл. 4). Данный признак показал значительную вариацию ($CV = 20,8-27,8$ %), что свидетельствует о его зависимости от условий произрастания. Корреляционная связь средней величины проявилась с массой зерна с колоса ($r = 0,432...0,543$).

Выводы. Изучение селекционного материала конкурсного сортоиспытания яровой мягкой пшеницы в условиях Среднего Поволжья позволило выделить перспективные сорта и линии, которые превысили стандартный сорт Архат по средней урожайности и элементам ее структуры – Наставник, Эритроспермум 70/04-3, Ирвита, Сенсей, Эритроспермум 20/08-7, Лютесценс 1/12-19, Эритроспермум 15/08-4. Данные образцы характеризовались высокой изменчивостью по признакам: «масса 1000 зёрен», «количество продуктивного стеблестоя»; средней – «количество и масса зёрна с колоса». Анализ корреляционных взаимосвязей показал степень влияния элементов продуктивности на формирование урожайности. Сильная взаимосвязь урожайности установлена с массой зерна с колоса. Изученные закономерности можно будет использовать в экологической селекции яровой мягкой пшеницы.

Список литературы

1. Петрушина О. В. Экспортно-ориентированная стратегия зернового производства. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(2):90-97.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45281648> EDN: EEZTWJ
2. Марченко Д. М. Взаимосвязи между урожайностью и элементами её структуры у сортов мягкой яровой пшеницы. Научный журнал КубГАУ. 2011;(68(04)):1-12. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyazi-mezhdu-urozhaynostyu-i-elementami-ee-struktury-u-sortov-myagkoy-ozimoy-pshenitsy>
3. Ламажан Р. Р., Липшин А. Г. Изменчивость селекционно-ценных признаков ярового ячменя. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019;49(4):17-22.
DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-4-2> EDN: JFTGLW
4. Кривобочек В. Г. Оценка адаптивных свойств новых сортов яровой пшеницы по урожайности в лесостепных условиях Среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2015;(2(35)):43-47.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23859147> EDN: UCCVYZ
5. Дёмина Е. А., Кинчаров А. И. Корреляционные связи урожайности яровой пшеницы с показателями качества зерна и элементами продуктивности растений. АгроЭкоИнфо. 2017;(4):18.
Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_421.doc
6. Пискарев В. В., Зуев Е. В., Брыкова А. Н. Исходный материал для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Новосибирской области. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(7):784-794.
DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.422> EDN: YMZLJB
7. Агеева Е. В., Леонова И. Н., Лихенко Е. И. Полегание пшеницы: генетические и экологические факторы и способы преодоления. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24(4):356-362.
DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.628> EDN: GZCEPB
8. Малокостова Е. И. Характеристика генотипов яровой мягкой пшеницы по комплексу хозяйственно-ценных признаков. Международный научно-исследовательский журнал. 2017;(12-3(66)):123-126.
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.106> EDN: YNMOBJ

9. Vitale J., Adam B., Vitale P. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat. *Agronomy*. 2020;10(2):238. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020238>
10. Хлесткина Е. К., Журавлёва Е. В., Пшеничникова Т. А., Усенко Н. И., Морозова Е. В., Осипова С. В., Пермякова М. Д., Афонников Д. А., Отмахова Ю. С. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной продукции (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(3):501-514. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.501rus> EDN: YZKVHR
11. Амунова О. С., Волкова Л. В., Зуев В. Е., Харина А. В. Исходный материал для селекции мягкой яровой пшеницы в условиях Кировской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(5):661-675. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675> EDN: QALWGW
12. Войцукская Н. П. Источники хозяйственно-ценных признаков для селекции озимой мягкой пшеницы в степной зоне Краснодарского края. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2020;(4(36)):106-116. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11212> EDN: CRJVNY
13. Мухитов Л. А., Самуилов Ф. Д. Величина подколосового междоузлия и продуктивность сортов яровой мягкой пшеницы разных экологических групп в лесостепи Оренбургского Предуралья. *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2014;9(3):135-138. DOI: <https://doi.org/10.12737/6546> EDN: TCDBTP
14. Капко Т. Н., Пискарев В. В., Бойко Н. И., Тимофеев А. А. Изучение изменчивости и наследования длины верхнего междоузлия мягкой яровой пшеницы в условиях лесостепи Приобья. *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2015;(4(20)):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25108634> EDN: VDLTMX
15. Лепехов С. Б., Коробейников И. И. Длина верхнего междоузлия и высота растения как способ оценки засухоустойчивости сортов мягкой пшеницы. *Достижения науки и техники АПК*. 2013;(10):22-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20448267> EDN: RFMFEB
16. Ковтун В. И., Сухарева А. А. Урожайность и элементы её структуры у новых генотипов пшеницы мягкой озимой в условиях юга России. *Аграрный научный журнал*. 2020;(11):16-19. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i11pp16-19> EDN: JPQIQZ
17. Иванова И. Ю., Ильина С. В. Вариативность хозяйственно-ценных признаков яровой мягкой пшеницы. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2020;(2):53-55. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-12030> EDN: GYPYQS
18. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалёва М. С., Бургова В. В. Урожайность сортов озимой мягкой пшеницы, элементы её структуры и адаптивные свойства в условиях Нечернозёмной зоне. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2021;(3(39)):17-22. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22> EDN: XGWVMY

References

1. Petrushina O. V. Export-oriented strategy of grain production. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2021;(2):90-97. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45281648>
2. Marchenko D. M. Interrelations between productivity and elements of its structure at grades of soft winter wheat. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2011;(68(04)):1-12. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vzaimosvyazi-mezhdu-urozhaynostyu-i-elementami-ee-struktury-u-sortov-myagkoy-ozimoy-pshenitsy>
3. Lamazhap R. R., Lipshin A. G. Variability of characteristics valuable for breeding of spring barley. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2019;49(4):17-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-4-2>
4. Krivobochek V. G. The assessment of adaptive properties of new spring soft wheat according to yield productivity in the conditions of forest-steppe in middle Volga area. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2015;(2(35)):43-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23859147>
5. Demina E. A., Kincharov A. I. Correlations of spring wheat yield with grain quality indicators and elements of plant productivity. *AgroEkoInfo* = AgroEcoInfo. 2017;(4):18. (In Russ.). URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2017/4/st_421.doc
6. Piskarev V. V., Zuev E. V., Brykova A. N. Sources for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Novosibirsk region. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(7):784-794. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.422>
7. Ageeva E. V., Leonova I. N., Likhenko E. I. Lodging in wheat: genetic and environmental factors and ways of overcoming. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(4):356-362. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.628>
8. Malokostova E. I. Description of the genotypes of spring soft wheat by the complex of economically valuable characteristics. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2017;(12-3(66)):123-126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.66.106>

9. Vitale J., Adam B., Vitale P. Economics of wheat breeding strategies: focusing on Oklahoma hard red winter wheat. *Agronomy*. 2020;10(2):238. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10020238>
10. Khlestkina E. K., Zhuravleva E. V., Pshenichnikova T. A., Usenko N. I., Morozova E. V., Osipova S. V., Permyakova M. D., Afonnikov D. A., Otmakhova Yu. S. Modern opportunities for improving quality of bakery products via realizing the bread wheat genetic potential-by-environment interactions (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(3):501-514. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.501rus>
11. Amunova O. S., Volkova L. V., Zuev E. V., Kharina A. V. Source for the breeding of soft spring wheat in the conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(5):661-675. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.5.661-675>
12. Voitsutskaya N. P. Sources of economically valuable signs for breeding of winter soft wheat in the steppe zone of Krasnodar region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(4(36)):106-116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11212>
13. Mukhitov L. A., Samuilov F. D. The size of under-ear interstice and productivity of spring soft wheat varieties of different ecological groups in the forest-steppe of Orenburg region. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2014;9(3):135-138. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/6546>
14. Kapko T. N., Piskarev V. V., Boyko N. I., Timofeev A. A. The study of variability and inheritance of length of upper internode of soft spring wheat under conditions of the forest-steppe of Priobje. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2015;(4(20)):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25108634>
15. Lepekhov S. B., Korobeynikov I. I. Dlina verkhnego mezhdouzliya i vysota rasteniya kak sposob otsenki zasukhoustoychivosti sortov myagkoy pshenitsy. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2013;(10):22-25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20448267>
16. Kovtun V. I., Sukhareva A. A. Productivity and elements of its structure in new genotypes of soft winter wheat of the south of Russia. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(11):16-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i11pp16-19>
17. Ivanova I. Yu., Ilyina S. V. Variability of economically valuable features spring soft wheat. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(2):53-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-12030>
18. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Yield of winter bread wheat varieties, elements of its structure and adaptive properties in the conditions of the Nechernozem zone. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;(3(39)):17-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22>

Сведения об авторе

Дёмина Ирина Фёдоровна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, обособленное подразделение Пензенский НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мичурина, 1 «Б», р. п. Лунино, Пензенская обл., Российская Федерация, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0118-5492>, e-mail: deminaif@mail.ru

Information about the author

Irina F. Demina, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, separate subdivision, Penza, Federal Scientific Center for Bast Fiber Crops, Michurin str., 1 «B», Lunino settlement, Penza region, Russian Federation, 442731, e-mail: info.pnz@fncl.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0118-5492>, e-mail: deminaif@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author