

DOI 10.33952/2542-0720-2020-3-23-43-58

УДК 633.11:631.559

Волкова Л. В., Лисицын Е. М., Амунова О. С.

**РОЛЬ ГЕНОТИПА И ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ В ФОРМИРОВАНИИ
МОРФОБИОЛОГИЧЕСКИХ И ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫХ ПРИЗНАКОВ
ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ**

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого»

Реферат. Оценка влияния метеоусловий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений и урожайность является необходимым шагом для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям возделывания. Цель исследований – оценить влияние метеорологических условий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы и урожайность для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям Волго-Вятского региона. Объектом исследований служили девять перспективных номеров яровой пшеницы местной селекции и районированные сорта Баженка и Маргарита. В разные фазы вегетации были проанализированы 27 показателей, при этом учитывали их варибельность и взаимосвязь с урожайностью зерна. В результате трехлетних исследований (2016–2018 гг.) 11 перспективных сортов яровой пшеницы в условиях Волго-Вятского региона определены коэффициенты варьирования морфобиологических и хозяйственно ценных признаков растений в контрастные по тепло- и влагообеспеченности годы. К высокостабильным признакам на популяционном уровне отнесены: количество зародышевых корешков, масса семидневных проростков, содержание каротиноидов в листьях в фазе цветения, продуктивная кустистость, длина колоса, масса 1000 зерен ($C_v = 3,9–7,0\%$). Отмечен высокий вклад генотипа в развитие массы 1000 зерен (61,8%), числа зародышевых корешков (39,8%), длины колоса (37,8%), размеров флагового листа (29,1–34,6%), содержание каротиноидов в листьях в фазе цветения (31,7%), массы зерна с колоса (30,8%). Проявилось сильное влияние среды на массу растений в фазе кущения и цветения (82,6 и 71,0%), длину вегетационного периода (81,9%), содержание белка и клейковины в зерне (80,8 и 78,8%), высоту растений (73,3%). Среднегодовые величины урожайности изучаемых сортов изменялись в пределах 2,00–3,33 т/га, вклад генотипа и условий среды в изменчивость параметра составил 13,9 и 60,4% соответственно, коэффициент сортовой варибельности – 21,6–41,5%. Показатели, на которые необходимо ориентировать селекцию в регионе на высокую продуктивность – масса 1000 зерен, число зародышевых корешков, биомасса растений в период цветение–уборка, размер флагового листа в фазе цветения, продуктивность главного колоса, продолжительность вегетационного периода. Установлено, что селекция на стабилизацию биомассы растения, размеров флагового листа и содержания фотосинтетических пигментов в фазе цветения одновременно приводит к повышению урожайности зерна.

Ключевые слова: яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), селекция, признаки продуктивности, фотосинтетические пигменты, урожайность, коэффициент вариации, влияние условий.

Введение

В основе технологии возделывания любой культуры лежит сорт, а реализация его продукционного потенциала и технологических качеств – результат сложного взаимодействия «генотип-среда» в конкретных природно-климатических условиях.

Для создания сортов с гарантированно высокой урожайностью необходимо применять новые наукоемкие селекционные технологии, результативность и экономическая эффективность которых напрямую зависит от оптимизации объема работ на каждом этапе. При разработке региональных селекционных программ важно проводить всестороннюю оценку не только хозяйственно ценных признаков, но и косвенных показателей, вносящих весомый вклад в продуктивность: оптимальную архитектуру растения, тип корневой системы, фотосинтетическую активность, размер генеративных органов, аттракцию продуктов фотосинтеза в органы растения, используемые человеком или животным, и др. Создание новых сортов для устойчивого и высокопродуктивного агробиоценоза предполагает обязательную оценку реакций генотипов на условия испытания, при этом рекомендуется использовать коэффициент вариации, характеризующий степень как индивидуальной (сортовой), так и групповой (популяционной) изменчивости признаков [1]. Эффективность селекции в значительной степени зависит от того, насколько обосновано представление селекционера об идеальном морфофизиологическом типе отбираемых растений, то есть о тех признаках, на которые следует вести отбор. В период, когда наиболее престижными стали исследования на молекулярном уровне и соответствующие рекомендации использования генноинженерных методов в селекции, важно помнить, что даже по признакам отдельных растений очень ненадежно прогнозировать такие свойства полевых посевов, как целостных продукционных систем [2, 3], а исследованиями на молекулярном и клеточном уровнях нельзя заменить изучение причин различий агроценозов по урожайности и устойчивости к стрессам [4, 5]. Несмотря на широкие возможности методов современной молекулярной биологии, использование естественной вариабельности в существующих генофондах и практического фенотипического скрининга на сегодняшний день считается наиболее перспективным подходом в улучшении фотосинтеза растений и потенциальной урожайности [6–8]. Поэтому для обоснования признаков идеального морфофизиологического типа высокоурожайных, адаптированных к основным стрессам сортов необходимо изучение параметров целостных агроценозов в типичных агроэкологических условиях.

На сегодня в Волго-Вятском регионе влияние биологических, морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы на продуктивность, а также их изменчивость в связи с флуктуацией погодных условий изучено не в полной мере. Разработка методических основ селекции с учетом агроклиматических факторов и особенностей формирования признаков на разных этапах онтогенеза является весьма актуальной. В ФГБНУ «ФАНЦ Северо-Востока» в последние годы ведут исследования по созданию сортов пшеницы со специфической адаптивностью к жестким гидротермическим условиям (почвенная и атмосферная засуха), низкому уровню плодородия почвы и агрокультуры, что в последние годы характерно для многих хозяйств региона. Возникает необходимость подбора показателей для выделения генотипов с высокой фотосинтетической активностью, зерновой продуктивностью и качеством зерна в подобных условиях выращивания.

Разные исследователи на основании собственных результатов изучения связей морфологических, физиологических признаков и элементов продуктивности с урожайностью используют разное количество главных элементов, а также отмечают, что вклад показателей в урожай напрямую зависит от условий возделывания [9, 10]. Многие указывают на тесную положительную связь урожайности и продуктивности колоса, особенно при засухе [11], а также роль

высоты растений [12, 13] и надземной биомассы [14] в проявлении изучаемого признака. Показана статистически значимая корреляция между содержанием хлорофилла, урожайностью и хлорофилльным потенциалом зерновых культур [15]. Определена высокая информативность некоторых признаков в фазе проростков (число зародышевых корешков, сухая масса проростков) для оценки сортов по засухоустойчивости [16].

Цель исследований – оценить влияние метеорологических условий на изменчивость морфологических и физиологических признаков растений яровой пшеницы и урожайность для разработки селекционных программ создания новых сортов, адаптированных к условиям Волго-Вятского региона.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров) в 2016–2018 гг. Объектом исследований служили девять перспективных номеров яровой пшеницы местной селекции и районированные сорта Баженка и Маргарита. Площадь делянки – 13,5 м², повторность – четырехкратная, норма высева – 6 млн всхожих семян/га. Почва опытного участка – типичная для региона (дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН – 4,8–5,2; содержание гумуса – 2,0 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), содержание фосфора и калия среднее (5–100 и 81–120 мг/кг почвы соответственно; по Кирсанову, ГОСТ Р 54650-2011).

В 2016 и 2017 гг. под посев вносили полное минеральное удобрение (N₄₅P₄₅K₄₅ кг/га д.в.), в 2018 г. удобрения не применяли. В разные фазы вегетации были проанализированы 27 показателей, при этом учитывали их вариабельность и взаимосвязь с урожайностью зерна. Анализ образцов в фазе проростков проводили лабораторным методом, использовали семена урожая предыдущего года и проращивали в дистиллированной воде в чашках Петри (объем выборки 30 семян, повторность трехкратная) в термостате при температуре 20–21 °С в течение семи суток в соответствии с ГОСТ 12038-84. Полевые учеты и наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [17]. Для оценки элементов структуры продуктивности сортов пшеницы перед уборкой отобрали по 30 растений в каждой из трёх повторностей. Высоту растений, длину верхнего междоузлия, колоса, длину и ширину флагового листа определяли с помощью линейки. Массу растений, колоса, зародышевых корешков, ростков и целых проростков определяли с помощью аналитических весов «Gibertini Micro 1000». Расчетным путем определяли массу зерна с колоса и растения, массу 1000 зерен, число зародышевых корешков у проростков, число зерен в колосе, площадь листьев, общую и продуктивную кустистость, количество продуктивных стеблей на м², урожайность, зерновой индекс, продолжительность вегетационного периода [18, 19]. Содержание фотосинтетических пигментов (сумму хлорофиллов и каротиноидов) определяли в ацетоновых вытяжках на спектрофотометре «UVmini-1240» (Shimadzu Corporation, Japan) по методике [20]. Содержание сырого белка в зерне определяли на приборе «Inframatic 8620» (Pertin Instruments, USA), содержание клейковины – с использованием системы «Glutomatic 2020» (Pertin Instruments, USA) в соответствии с методическими разработками производителей.

Данные обработаны статистически методами вариационной статистики, корреляционного и двухфакторного дисперсионного анализа с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016.

Климат Кировской области – континентальный, с умеренно холодной зимой и теплым летом. Период активного роста зерновых культур в области составляет 110–120 дней, сумма активных температур этого периода – от 1600 до 2198 °С. Среднегодовое количество выпадающих осадков значительно превышает

испарение. Распределение тепло- и влагоресурсов крайне неравномерно. В критические фазы развития растений (май–июнь) может отмечаться снижение осадков до 50–60 % от месячной нормы [21].

Погодные условия в годы проведения исследований существенно различались по температурному режиму и количеству осадков (таблица 1). Вегетационный период 2016 г. отличался острым дефицитом осадков в период от всходов до молочной спелости, в 2017 г. в течение всей вегетации наблюдали избыточное увлажнение и недостаток эффективных температур, в 2018 г. – благоприятное сочетание тепла и влаги.

Таблица 1 – Погодные условия периода вегетации растений яровой пшеницы, г. Киров

Месяц, период	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее многолетнее
температура воздуха				
Посев – всходы	11,2	6,9	13,5	11,3
Всходы – молочная спелость	15,9	15,4	15,1	17,7
Молочная спелость – созревание	19,3	17,6	20,1	17,3
Посев – созревание	17,6	16,5	17,6	17,0
осадки				
Посев – всходы	0,5	44,8	18,5	28,1
Всходы – молочная спелость	52,9	213,1	146,9	139,9
Молочная спелость – созревание	115,6	76,9	104,1	77,0
Посев – созревание	178,5	290,0	251,0	216,9
ГТК				
Посев – всходы	0,05	8,21	0,79	1,12
Всходы – молочная спелость	0,62	3,25	2,83	2,71
Молочная спелость – созревание	1,80	1,86	1,27	1,63
Посев – созревание	1,09	2,27	1,66	1,82

Результаты и их обсуждение

Оценка вариабельности изучаемых признаков в разных погодно-климатических условиях 2016–2018 гг. позволила оценить норму реакции растений яровой пшеницы по коэффициенту вариации (C_v , %) и выявить особенности влияния погодных факторов на те или иные показатели в разные периоды роста и развития растений.

В фазе проростков (таблица 2) наименьшей вариабельностью характеризовался показатель «число зародышевых корешков» (C_v в зависимости от сорта и года изменялся от 2,1 до 9,5 %, составив в среднем для лет и 11 генотипов величину 3,8 %).

Сортовые различия наблюдали по вариабельности массы проростков, корешков и надземной части; в отдельные годы C_v этих показателей достигал 20,8–29,9 % (в среднем для изучаемого набора сортов – 5,2 %), что может указывать на разные адаптивные возможности отдельных генотипов. Различия средних популяционных значений в отдельные годы были значимыми по всем изученным показателям (числу корней, массе корней, ростков и проростков).

В фазе кущения наиболее сильная реакция на условия вегетации проявилась по массе растений, коэффициент вариации этого показателя у отдельных сортов находился в интервале от 41 до 91 %, а в среднем для выборки – 65 %. По всем остальным показателям различия абсолютных значений были значительно меньше: вариабельность высоты растений составила 12–25 %, суммы хлорофиллов – 13–40 %, содержания каротиноидов – 6–23 %. Повышенное (относительно

среднеголетних данных) количество выпавших осадков в сочетании с пониженными температурами за период всходы–кущение в 2017 г. привело к значимому превышению всех показателей по сравнению с 2016 и 2018 гг. Содержание каротиноидов было наиболее низким в засушливом 2016 г.

Таблица 2 – Изменчивость морфобиологических показателей яровой пшеницы в период вегетативного роста (среднее для 11 генотипов)

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	НСР ₀₅	C _v , %
фаза проростков					
Число зародышевых корешков, шт.	4,41	4,76	4,62	0,12	3,8 ± 1,5
Масса зародышевых корешков, мг	4,94	6,48	6,00	0,54	13,5 ± 5,5
Масса ростка, мг	7,38	6,88	6,18	0,60	8,8 ± 3,6
Масса проростка, мг	12,32	13,35	12,14	1,03	5,2 ± 2,1
фаза кушения					
Высота растений, см	18,1	23,7	17,6	1,0	17,1 ± 6,9
Сухая масса одного растения, г	0,31	0,78	0,25	0,07	65,0 ± 26,5
Сумма хлорофиллов <i>a+b</i> , мг/г сухого вещества	15,71	21,80	14,61	0,82	22,3 ± 9,1
Содержание каротиноидов, мг/г сухого вещества	3,35	4,07	3,97	0,13	10,3 ± 4,2
фаза цветения					
Высота растений, см	58,7	86,0	72,0	2,7	18,9 ± 7,7
Масса одного растения, г	4,08	8,47	7,14	0,53	34,3 ± 14,0
Длина флагового листа, см	16,5	20,4	15,9	0,9	13,9 ± 5,7
Ширина флагового листа, см	1,0	1,4	1,2	0,0	16,7 ± 6,8
Площадь флагового листа, см ²	11,63	18,70	12,88	1,02	26,2 ± 10,7
Сумма хлорофиллов <i>a+ b</i> , мг/г сухого вещества	14,39	14,96	11,43	0,72	13,9 ± 5,7
Содержание каротиноидов, мг/г сухого вещества	2,84	2,63	2,62	0,10	4,5 ± 1,9

Засуха 2016 г. лимитировала рост растений и накопление ими общей биомассы, в результате чего в фазе цветения (см. таблицу 2) наблюдали достоверное снижение морфологических показателей по отношению к аналогичным показателям других лет: высоты растений – на 19–32 %, массы растений – на 43–52 %, а линейных параметров флагового листа – на 17–38 %. В условиях избыточного увлажнения 2017 г. надземная биомасса развивалась интенсивнее, вследствие чего отмечено максимальное проявление морфометрических показателей (высоты растений, их биомассы, длины, ширины, площади флагового листа).

Содержание хлорофилла было наименьшим в 2018 г., значимо отличаясь от данных 2016 г. (на 21 %) и 2017 г. (на 24 %). В отличие от фазы кушения, в фазе цветения содержание каротиноидов было максимальным в 2016 г., значимо превышая данные остальных лет исследования (на 8 %). Отмечена значимая (при $p \leq 0,05$) связь между вариабельностью массы растения, ширины флагового листа, содержания каротиноидов (выраженной через C_v, %) и средним уровнем урожайности ($r = -0,61 \dots -0,71$), поэтому дальнейшую селекционную работу в условиях глобального изменения климата необходимо ориентировать на стабилизацию этих показателей.

При создании новых сортов большое значение придается оценке элементов продуктивности в период репродуктивного роста растений. Анализ 17 селекционно значимых показателей яровой пшеницы (таблица 3) позволил определить их вариабельность в различных погодных условиях Кировской области.

К наиболее стабильным показателям можно отнести продуктивную кустистость (при постоянной норме высева), длину колоса и массу 1000 зерен, у которых уровень колебаний по годам не превышал 7,0 %, а генотипические

различия (вариабельность показателя между отдельными генотипами в пределах одного года) варьировали в пределах 0,9–14,4 %.

Таблица 3 – Изменчивость селекционно значимых показателей 11 генотипов яровой пшеницы в период репродуктивного роста

Показатель	2016 г.	2017 г.	2018 г.	НСР ₀₅	CV, %
Высота растений, см	69,2	93,7	76,0	2,8	15,9 ± 6,5
Длина верхнего междоузлия, см	28,2	41,0	30,4	1,3	20,6 ± 8,4
Сухая масса одного растения, г	3,28	2,98	2,40	0,24	15,5 ± 6,3
Количество продуктивных стеблей, шт./м ²	323	488	389	7	20,8 ± 8,5
Общая кустистость, стеблей	1,38	1,15	1,30	0,10	9,1 ± 3,7
Продуктивная кустистость, стеблей	1,19	1,15	1,10	0,07	3,9 ± 1,6
Длина колоса, см	8,0	7,1	7,1	0,3	7,0 ± 2,9
Масса колоса, г	1,90	1,42	1,31	0,10	20,3 ± 8,3
Число зерен с колоса, шт.	35,3	27,7	27,5	1,7	14,7 ± 6,0
Масса зерна с колоса, г	1,47	1,09	1,03	0,08	19,9 ± 8,1
Масса зерна с растения, г	1,65	1,19	1,10	0,10	22,5 ± 9,2
Масса 1000 зерен, г	40,8	39,5	37,6	1,1	4,1 ± 1,7
Зерновой индекс (ЗУИ), %	50,3	39,8	46,1	0,9	11,6 ± 4,8
Содержание белка в зерне, %	11,0	6,9	8,3	0,3	23,9 ± 9,7
Содержание клейковины в зерне, %	31,1	15,5	17,4	1,6	39,9 ± 16,3
Вегетационный период, сут	79	92	86	0	7,6 ± 3,1
Урожайность, т/га	2,00	3,33	2,28	0,14	27,6 ± 11,3

Степень варьирования высоты растений в целом за три года исследований не менялась от фазы кущения до полной спелости ($C_v = 15,9–18,9\%$), при этом популяционная изменчивость составляла 11,2–25,0 %, то есть реакция отдельных генотипов на условия выращивания была неодинаковой. К фазе полной спелости значительно выровнялся среднегодовой показатель массы растений ($C_v = 65,0; 34,3$ и 15,5 % для фаз кущения, цветения и полной спелости соответственно). К показателям, наиболее сильно подверженным влиянию условий произрастания в фазе полной спелости, можно отнести содержание клейковины в зерне, среднее значение которой для 11 генотипов пшеницы изменялось от 15,5 до 31,1 % ($C_v = 39,9\%$). Как следует из данных таблицы 3, среднесортная урожайность в контрастных условиях различалась в 1,6 раза. Значение коэффициента вариации показателя (27,6 %) может отражать уровень устойчивости к изменчивости погодных условий вегетации.

Согласно данным двухфакторного дисперсионного анализа, в ювенильный период развития растений пшеницы (таблица 4) генотип вносил значимый вклад в развитие показателя «число зародышевых корешков» (39,8 %), но его корреляционная связь с урожайностью была статистически незначима.

В 2017 г. сорта, формировавшие большее количество зародышевых корней, отличались меньшей высотой в фазе кущения ($r = -0,60$), а также меньшей продуктивной кустистостью ($r = -0,82$). Массу проростка, массу корней и ростков определили условия года репродукции (6,3–25,8 %), при этом вклад генотипа был незначимым (7,8–12,6 %). Коэффициенты корреляционной связи между урожайностью и массовыми параметрами также были статистически незначимыми.

На основе двухфакторного дисперсионного анализа установлено, что большую часть изменчивости показателей «высота растения» и «масса растения» обуславливал фактор «год» (63,3 и 82,6 % для высоты и массы растения соответственно), а вклад генотипа был значимым лишь для высоты растений (14,9 %). Изученные морфобиологические показатели растений в фазе кущения не

были связаны с конечной урожайностью растений (соответствующие коэффициенты парных корреляций статистически незначимы).

Таблица 4 – Вклад генотипа и условий года (%) в развитие количественных показателей растений 11 сортов яровой пшеницы в период вегетативного роста и корреляционные связи с урожайностью

Показатель	Фактор		Корреляция с урожайностью			
	A ¹	B	2016 г.	2017 г.	2018 г.	r _g ²
фаза проростков						
Число зародышевых корешков	39,8*	16,4*	0,37	0,43	0,04	0,32
Масса зародышевых корешков	7,8	25,8*	-0,39	0,51	-0,04	0,15
Масса ростка,	12,6	13,2*	0,15	0,38	0,24	0,38
Масса проростка	11,0	6,3*	-0,06	0,54	0,12	0,34
фаза кушения						
Высота растений	14,9*	63,3*	-0,07	-0,53	0,50	-0,16
Масса растений	1,8	82,6*	0,12	0,06	0,30	0,11
Сумма хлорофиллов a+b	7,2*	67,3*	0,41	-0,09	0,17	0,18
Содержание каротиноидов	15,8*	39,3*	0,48	0,04	0,25	0,14
фаза цветения						
Высота растений	23,1*	67,7*	-0,04	-0,44	-0,39	-0,38
Масса растений, г	15,8*	71,0*	0,74*	0,60*	0,05	0,74*
Длина флаг-листа	29,1*	46,1*	0,73*	0,45	-0,42	0,51
Ширина флаг-листа	34,6*	48,4*	0,76*	0,34	0,04	0,60*
Площадь флаг-листа	32,9*	49,6*	0,76*	0,48	-0,10	0,64*
Сумма хлорофиллов a+ b	19,3*	41,1*	-0,29	0,46	0,60*	0,46
Содержание каротиноидов	31,7*	6,7*	-0,52	0,46	0,47	0,09

*Примечание (здесь и в последующих таблицах). ¹ – фактор А – генотип, фактор В – год; ² – r_g – корреляция между средними трехлетними значениями признаков; * – значимо при p ≤ 0,05.*

Значимо высокие связи между суммой хлорофиллов a+b в фазе цветения и урожайностью отмечены в 2018 г. (таблица 5), когда рост и развитие растений могли быть лимитированы дефицитом элементов минерального питания. Вклад генотипа был наиболее высоким в вариабельность содержания каротиноидов в фазе цветения (31,7 %), при этом сорта с минимальным уровнем вариабельности этого признака характеризовались наиболее высокой урожайностью (r = -0,63).

В нашем исследовании не обнаружено значимых взаимосвязей между размером флагового листа и содержанием пигментов на единицу его массы; в разные годы они составляли: для хлорофилла r = 0,02–0,24 (r_g = 0,32), для каротиноидов – r = -0,31–0,30 (r_g = 0,19). Отсутствие корреляции между этими показателями свидетельствует о возможности их сочетания в одном генотипе на высоком уровне.

Наибольшее влияние генотип растений оказал на развитие показателей флагового листа в фазе цветения: длину, ширину, площадь (29,1–34,6 %). В условиях засухи 2016 г. отмечена тесная связь размеров флагового листа с урожайностью (r = 0,73–0,76). При этом ширина и площадь листьев в значительной степени влияли на параметры продуктивности главного колоса: массу колоса, массу зерна в колосе (r = 0,61–0,70).

Формирование мощной вегетативной части (массы растения) к фазе цветения значимо влияло на урожайность в 2016 и 2017 гг. (r = 0,60–0,74), но не играло роли в 2018 г. (r = 0,05). С другой стороны, стабильно положительная связь между высотой и содержанием белка (клейковины) в зерне во все годы (r_g = 0,71–0,73) свидетельствует о преимуществе более высокорослых генотипов при отборах на качество зерна.

В фазе полной спелости (см. таблицу 5) отмечена статистически значимая роль генотипа растений яровой пшеницы в проявлении большинства анализируемых показателей (доля влияния генотипа для отдельных показателей изменялась от 10,6 до 68,1 %), за исключением количества продуктивных стеблей на единицу площади, общей и продуктивной кустистости.

Таблица 5 – Вклад генотипа и условий года (%) в развитие количественных показателей растений 11 сортов яровой пшеницы в период репродуктивного роста и корреляционные связи с урожайностью

Показатель	Фактор		Корреляция с урожайностью			
	A ¹	B	2016 г.	2017 г.	2018 г.	r_g^2
Высота растений	15,2*	73,3*	0,46	0,27	-0,55	0,21
Длина верхнего междоузлия	39,9*	52,9*	-0,03	-0,14	-0,42	-0,10
Масса растений	30,0*	35,6*	0,62*	0,61*	0,27	0,71*
Количество продуктивных стеблей/м ²	6,5	49,3*	0,33	-0,17	0,28	0,11
Общая кустистость	22,4	11,4*	0,30	0,02	-0,27	0,02
Продуктивная кустистость	22,6	11,0*	0,30	-0,37	-0,34	-0,10
Длина колоса	37,8*	29,3*	0,17	0,54	0,09	0,21
Масса колоса	27,5*	49,3*	0,55	0,76*	0,60*	0,74*
Число зерен с колоса	24,9*	48,8*	0,21	0,45	0,18	0,27
Масса зерна с колоса	30,8*	47,7*	0,58	0,79*	0,61*	0,78*
Масса зерна с растения	26,7*	48,8*	0,56	0,63*	0,57	0,73*
Масса 1000 зерен	68,1*	11,8*	0,71*	0,85*	0,57	0,89*
Зерновой индекс (ЗУИ)	14,4*	78,4*	-0,08	0,46	0,75*	0,28
Содержание белка в зерне	11,3*	80,8*	-0,40	-0,67*	-0,87*	-0,81*
Содержание клейковины	10,6*	78,8*	-0,22	-0,74*	-0,75*	-0,64*
Вегетационный период	16,3*	81,9*	0,73*	0,80*	0,40	0,85*
Урожайность	13,9*	60,4*	-	-	-	-

Наибольшей долей влияния генотипа характеризовались масса 1000 зерен (68,1 %), длина верхнего междоузлия (39,9 %), длина колоса (37,8 %), масса зерна с колоса (30,8 %) и масса растения (30,0 %). Необходимо отметить, что только для двух показателей (длины колоса и массы 1000 зерен) степень влияния условий года была ниже степени влияния генотипа.

В контрастные по влагообеспеченности годы корреляционные связи отдельных показателей с урожайностью значительно различались. Статистически значимую корреляцию урожайности в 2016 г. наблюдали с массой растений, массой 1000 зерен и продолжительностью вегетационного периода.

В условиях вегетации 2017 г. коррелятивная связь конечной урожайности растений с элементами ее структуры значительно усилилась. На урожайность значимо влияли такие показатели как масса растения, масса одного колоса, масса зерна с колоса и растения, крупность зерна.

В 2018 г. основным показателем, определяющим урожайность, являлась аттрагирующая способность колоса, косвенно выраженная через показатели ЗУИ, массы колоса, массы зерна с колоса ($r = 0,60-0,75$). Возможно, из-за недостатка элементов питания (минеральные удобрения в 2018 г. не вносили) высокая урожайность была сопряжена с низким содержанием в зерне белка и клейковины.

Изучение реакции растений на погодно-климатические факторы вызвано целым рядом причин. Так, одним из требований признания селекционного достижения сортом является обязательная оценка отличимости, однородности и стабильности. Эта оценка основана на комплексе морфологических признаков, которые характеризуются высокой вариабельностью в зависимости от условий внешней среды. Поэтому перед селекционерами стоит задача постоянной оценки

стабильности фенотипического проявления этих признаков в различных экологических условиях. Далее, различные генотипы пшеницы в ответ на стрессовые условия роста используют разные физиологические механизмы адаптации, поэтому полевые исследования параметров, связанных с урожайностью, являются необходимым условием понимания генетических механизмов, контролирующих урожай зерна [22]. Кроме того, изучение влияния погодных условий на рост и развитие растений – необходимый шаг в создании моделей сортов для определенных природно-климатических зон; знания о влиянии средовых факторов на рост культуры важны для агрономов и специалистов растениеводства.

Различия в метеорологических условиях вегетационных периодов в годы проведения исследования отразились на развитии как отдельных элементов структуры урожая, так и на средней урожайности испытанного набора генотипов.

Разделение исследований на два этапа (вегетативного и репродуктивного роста) объясняется различиями во влиянии средовых условий на развитие элементов структуры урожайности: если в период до опыления (вегетативный этап развития) окружающая среда оказывает воздействие на процессы прорастания, фотосинтеза, кущения, закладку и развитие генеративных органов, таким образом влияя на число зерен, то после опыления (репродуктивный этап) средовые факторы в основном влияют на размер зерна и его химический состав [23]. Косвенным доказательством этого является установленное в нашем исследовании значимое увеличение количества зародышевых корней, их массы, а также массы одного проростка в 2017 г. как адаптивный ответ на засуху 2016 г.

По расчетам некоторых исследователей, дефицит влаги, в зависимости от фенологической стадии роста, может привести к потере 60 % урожая [24], причем репродуктивная стадия роста намного чувствительней к засухе, чем вегетативная [25].

Засуха 2016 г. лимитировала рост растений и накопление ими общей биомассы в период до выхода в трубку, в результате чего наблюдалось достоверное снижение высоты (на 19–32 %) и массы растений (на 43–52 %) в этой фазе по отношению к аналогичным показателям других лет (см. таблицу 2). В условиях достаточного увлажнения (2017 г.) надземная биомасса развивалась интенсивнее, вследствие чего отмечено максимальное проявление морфометрических показателей (высоты растений, их биомассы, длины, ширины, площади флагового листа). Изменения погодных условий вегетации сильнее всего влияли на содержание сухого вещества растений в вегетативный период роста, варибельность этого показателя составила 34–65 %, тогда как у показателя высоты растений – только 17–19 %.

Считают, что физиологические характеристики флаговых листьев злаковых культур могут быть важным параметром в селекции засухоустойчивых генотипов [26, 27]. Зависимость этого показателя от доступности влаги настолько велика, что его предлагают использовать в качестве индикатора степени дефицита влаги для полевых посевов [28]. В нашем исследовании установлено, что размеры флагового листа отражали среднюю степень влияния условий среды роста; варибельность их по годам была на уровне 14–26 %, причем наибольшей варибельностью отличался показатель «площадь флаг-листа». На развитие размерных показателей флагового листа мягкой пшеницы условия вегетации влияли немного больше, чем генотипические особенности растений – в среднем влияние погодных условий составило 48 %, а генотипа – 32 %. Это может указывать на перспективность селекции по данным показателям, так как они в условиях засухи 2016 г. тесно коррелировали с урожайностью растений ($r = 0,73–0,76$). Наименьшей сезонной изменчивостью характеризовался показатель «содержание каротиноидов в

1 г сухого вещества листьев» (4,5–10,3 %). Содержание каротиноидов значительно повысилось в условиях дефицита влаги 2016 г., содержание хлорофилла варьировало в немного больших пределах (14–22 %). При этом накопление зеленых пигментов в большей степени определялось условиями вегетации (41 %), чем генотипическими различиями (19 %), а желтые пигменты – наоборот (7 и 32 % соответственно). Это может свидетельствовать о перспективности отбора по содержанию каротиноидов во флаговом листе и необходимости работы по стабилизации содержания хлорофиллов в фазе цветения.

Сравнивая влияние на развитие флаговых листьев условий разных лет, можно предположить, что засуха может приводить к такому же уровню лимитирования развития ассимиляционного аппарата пшеницы, как и недостаток элементов питания: изучаемые показатели в 2018 г. были практически на уровне засушливого 2016 г., несмотря на значимые отличия в высоте и массе растений.

Отмечена значимая связь между вариабельностью массы растения, ширины флаг-листа, содержания пигментов и средним уровнем урожайности ($r = -0,61 \dots -0,71$), что совпадает с наблюдениями на других злаковых культурах [29, 30], поэтому, по нашему мнению, селекцию необходимо ориентировать на стабилизацию этих признаков.

Селекция на повышение эффективности работы фотосинтетического аппарата считается приоритетным направлением, способным повысить генетический потенциал зерновой продуктивности на 10–60 % [31, 32]. Согласно нашим исследованиям, в условиях дефицита осадков рекомендуется анализировать сорта по содержанию пигментов в фазе кущение-выход в трубку, поскольку это определяет в дальнейшем размер габитуса растений, а в фазе цветения оценивать размер флагового листа. В благоприятных условиях размер листьев и концентрация пигментов в них не конкурируют между собой и могут сочетаться на высоком уровне в одном генотипе. При низком плодородии почвы большее значение приобретает способность сортов сохранять высокий уровень пигментов в более поздние фазы развития, а размер листовой поверхности играет менее существенную роли. Слабые корреляции ($r = 0,22 \dots -0,11$) между средними значениями и коэффициентами вариации изучаемых сортов по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в фазе цветения, выявленные в нашем исследовании, дают основание считать селекцию на совмещение высокого уровня и стабильности этих показателей весьма перспективной.

Одним из аспектов влияния повышенной температуры на растения является ускорение фенологии, при этом растения используют суммарно меньшее количество солнечной радиации, которая может быть трансформирована в биомассу, и соответственно снижают урожайность [33]. В условиях засухи 2016 г. продолжительность вегетации растений яровой мягкой пшеницы снизилась на 10–15 % по сравнению другими годами. Кроме того, засуха в первой половине вегетации 2016 г. привела к значительному снижению среднего числа растений на единицу площади и их высоты, а также общей и продуктивной кустистости. Однако с уменьшением высоты стебля и фотосинтезирующей поверхности листьев усилилось перераспределение продуктов фотосинтеза в пользу генеративных органов, что привело к значимому увеличению зернового индекса и параметров продуктивности колоса.

В 2017 г. средняя урожайность составила 3,33 т/га, у отдельных генотипов – 2,76–4,01 т/га. Отмечено значительное увеличение средней высоты растений, числа продуктивных побегов на единицу площади и вместе с тем снижение зернового уборочного индекса, средней продуктивности одного колоса и растения, содержания

белка и клейковины. Период созревания зерна был сильно растянут, вегетационный период составил 92 сут.

Статистически значимая доля влияния генотипа на количественные признаки указывает на высокую генетическую вариабельность этих признаков в изучаемом наборе сортов. Для параметров общей и продуктивной кустистости значимых влияний генотипа не отмечено. Значимые влияния генотипа на такие показатели, как масса 1000 зерен, общая биомасса и показатели развития колоса, совпадают с наблюдениями многих зарубежных авторов [14, 34].

Зерновой уборочный индекс (ЗУИ) является, по мнению Hannachi A. с соавторами [14], наиболее информативным признаком для селекции на повышение урожая зерна пшеницы в полуаридных условиях. Как показало наше исследование, уровень этого показателя для исследованных генотипов только на 14 % определялся генотипом растений, а на 78 % – погодно-климатическими условиями. При этом и в засушливом 2016 г. и в излишне влажном 2017 г. данный параметр не имел статистически значимых корреляционных связей с урожайностью. Очевидно, это связано с тем, что селекционеры уделяют мало внимания вкладу отдельных структурных элементов в улучшение урожайности в неблагоприятных погодных условиях, так как динамика температуры и осадков непредсказуема из года в год. Это делает адаптивную селекцию медленной и трудной. В то же время, экологическая вариабельность уборочного индекса считается самым информативным показателем условий влагообеспеченности посевов сои и подсолнечника в течение репродуктивного периода вегетации [35]. Низкая доля влияния генотипа на данный параметр может быть объяснена малой генетической вариабельностью исходного материала, используемого в селекции в условиях Северо-Восточного селекционного центра.

Согласно результатам дисперсионного анализа (см. таблицу 5), в наименьшей степени влияние погодно-климатических факторов проявилось на таких показателях, как общая и продуктивная кустистость, а также масса 1000 зерен (11–12 %). Вероятно, по данным показателям растений пшеницы уже достигнуты высокие уровни адаптации к местным условиям.

Выводы

Как показал анализ полученных данных, условия года формирования семян статистически значимо определяли развитие таких показателей, как масса целого проростка, масса корней и ростков (доля влияния фактора – 6,3–25,8 %), при этом вклад генотипа был статистически незначимым (7,8–12,6 %). Только для двух показателей (длины колоса и массы 1000 зерен) степень влияния условий года была ниже степени влияния генотипа. Избыточно влажный период всходы–кущение в 2017 г. привел к значимому превышению всех исследованных морфобиологических показателей над данными 2016 и 2018 гг. Засуха 2016 г. способствовала снижению высоты растений на 19–32 %, массы растений – на 43–52 %, а линейных параметров флагового листа – на 17–38 %. Погодные условия определяли большую часть изменчивости признаков «высота растения» и «масса растения» ($C_v = 63,3$ и $82,6$ % соответственно). Наиболее сильно погодные условия произрастания в фазе полной спелости повлияли на содержание клейковины в зерне ($C_v = 39,9$ %).

Наибольшей долей влияния генотипа характеризовались масса 1000 зерен (68,1 %), длина верхнего междоузлия (39,9 %), длина колоса (37,8 %), масса зерна с колоса (30,8 %) и масса растения (30,0 %). Генотип вносил статистически значимый вклад в вариабельность признаков «число зародышевых корешков» ($C_v = 39,8$ %), «содержание каротиноидов в листьях» ($C_v = 31,7$ %), параметров флагового листа в фазе цветения: длину, ширину, площадь ($C_v = 29,1$ – $34,6$ %), а также признака «высота

растений» ($C_v = 14,9\%$). В избыточно влажном 2017 г. сорта, формировавшие большее количество зародышевых корней, отличались меньшей высотой ($r = -0,60$) в фазе кущения и меньшей продуктивной кустистостью ($r = -0,82$). Сорта с минимальным уровнем вариабельности содержания каротиноидов характеризовались высокой урожайностью ($r = -0,63$).

В целом, данные проведенного исследования указывают на то, что высокая результативность отборов, вне зависимости от условий, может обеспечиваться по признаку массы 1000 зерен, характеризующегося минимальной вариабельностью, высокой генотипической обусловленностью и значимой корреляцией с урожайностью ($r_g = 0,87$). Отмечена значимая (при $p \leq 0,05$) связь между вариабельностью массы растения, шириной флаг-листа, содержанием каротиноидов и уровнем урожайности ($r = -0,61 \dots -0,71$), поэтому дальнейшую селекционную работу необходимо ориентировать на стабилизацию этих признаков.

Литература

1. Кильчевский А. В. Генетико-экологические основы селекции растений // Вестник ВОГиС. 2005. Т. 9. № 4. С. 518–527.
2. Donald C. M. The breeding crop ideotypes // Euphytica. 1968. Vol. 17. No. 3. P. 385-403.
3. Тооминг Х. Г. Растениеводство по принципу максимальной продуктивности // Сельскохозяйственная биология. 1984. № 9. С. 3–14.
4. Evans L. T. Physiological aspects of varietal improvement // Gene manipulation plant improvement, 16th Stadler genetic symposium. New York, London, 1984. P. 121–146.
5. Лисицын Е. М. Физиологические параметры корневых систем в селекции зерновых культур на абиотическую устойчивость // Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2018. Т. 4. № 3. С. 35–42
6. Morales F., Ancín M., Fakhret D., González-Torralba J., Gámez A. L., Seminario A., Soba D., Mariem S. B., Aranjuelo M. G. I. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement // Plants. 2020. Vol. 9(1). Article No. 88. DOI: 10.3390/plants9010088.
7. Flexa J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: why so much little success? // Plant Sci. 2016. Vol. 251. P. 155–161.
8. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges // Field Crop. Res. 2015. Vol. 182. P. 19–29.
9. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции // Зерновое хозяйство России. 2016. № 3 (45). С. 31–36.
10. Савиченко Д. Л., Цаценко Л. В., Нещадим Н. Н. Изучение потенциальной и реализованной продуктивности главного колоса коллекционных образцов озимой пшеницы, обладающих признаком «многоцветковость» // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 3(15). С. 111–116. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.11.
11. Пушкарев Д. В., Чурсин А. С., Кузьмин О. Г., Краснова Ю. С., Каракоз И. И., Шаманин В. П. Корреляция урожайности с элементами продуктивности сортов яровой мягкой пшеницы в условиях степной зоны Омской области // Вестник ОмГАУ. 2018. № 3 (31). С. 26–35.
12. Цыбенков Б. Б., Билтуев А. С. Формирование урожайности яровой пшеницы в аридных условиях Бурятии // Вестник КрасГАУ. 2016. № 6 (117). С. 120–125.
13. Косенко С. В. Хозяйственно-биологическая оценка линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 2 (18). С. 53–59. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-53-59.
14. Hannachi A., Fellahi Z. El A., Bouzerzour H., Boutekrabi A. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions // J. of Agriculture and Sustainability. 2013. Vol. 3 (2). P. 122–131.
15. Сидько А. Ф., Ботвич И. Ю., Письман Т. И., Шевырнов А. П. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу // Биофизика. 2017. Т. 62. Вып. 3. С. 565–569.
16. Волкова Л. В., Амунова О. С. Результаты изучения сортов яровой пшеницы на засухоустойчивость в Кировской области // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 3 (24). С. 12–17.

17. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1, 2 // Под общ. ред. Федина М. А. М.: Колос, 1985. 267 с.
18. Морозова З. А. Морфогенетический анализ в селекции пшеницы. М.: МГУ, 1983. 77 с.
19. Васильчук Н. С., Евдокимова О. А., Захарченко Н. А., Кумаков В. А., Поздеев А. И., Чернов В. К., Шер К. Н. Некоторые приемы и методы физиологического изучения сортов зерновых культур в полевых условиях // Под общ. ред. В. А. Кумакова. Саратов, НИИСХ Юго-Востока, 2000. 54 с.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Ed. by Wrolstad R. E., Acree T. E., An H., Decker E. A., Penner M. H., Reid D. S., Schwartz S. J., Shoemaker C. F., Sporns P. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1–F4.3.8.
21. Френкель М. О. Климат // Энциклопедия земли Вятской. Т. 7: Природа // Под ред. Ситников В. А. Киров: ГИПП «Вятка», 1997. С. 142–174.
22. Li P., Chen J., Wu P. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes // Crop Sci. 2012. Vol. 52. P. 110–121.
23. Dupont F. M., Altenbach S. B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis // Journal of Cereal Science. 2003. Vol. 38 (2). P. 133–146.
24. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O., Tapera T., Labuschagne M., Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches // Acta Physiol. Plant. 2018. Vol. 40. Art. No. 80. DOI: 10.1007/s11738-018-2651-6.
25. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: A review // Agric. Water Manag. 2017. Vol. 179. P. 18–33.
26. Ali M. A., Hussain M., Khan M. I., Ali Z., Zulkiffal M., Anwar J., Sabir W., Zeeshan M. Source-sink relationship between photosynthetic organs and grain yield attributes during grain filling stage in spring wheat (*Triticum aestivum*) // Int. J. Agric. Biol. 2010. Vol. 12. P. 509–515.
27. Biswal A. K., Kohli A. Cereal flag leaf adaptations for grain yield under drought: knowledge status and gaps // Mol. Breeding. 2013. Vol. 31. P. 749–766.
28. Лепехов С. Б., Коробейников Н. И. Сопряженность площади двух верхних листьев с массой зерна главного колоса // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012. № 11 (97). С. 57–60.
29. Ali M., Abbas A., Niaz S., Zulkiffal M., Ali S. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages // Int. J. Agric. Biol. 2009. Vol. 11. P. 674–680.
30. Sohrabi M., Rafii M. Y., Hanafi M. M., Siti Nor Akmar A., Latif M. Genetic diversity of upland rice germplasm in Malaysia based on quantitative traits // Scientific World Journal. 2012. Article ID 416291. DOI: 10.1100/2012/416291.
31. Long S. P., Marshall-Colon A., Zhu X.-G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential // Cell. 2015. Vol. 161. No. 1. P. 56–66.
32. Прядкина Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108.
33. Nguyen-Sy T., Cheng W., Tawarayama K., Sugawara K., Kobayashi K. Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years // Plant Production Science. 2019. Vol. 22. No. 3. P. 382–394.
34. Ali I. H., Shakor E. F. Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions // Mesopotamia Journal of Agriculture. 2012. Vol. 40. No. 4. P. 27–39.
35. Cox W. J., Jolliff G. D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits // Agronomy Journal. 1986. Vol. 78. No. 2. P. 226–230.

References

1. Kilchevsky A. V. Genetic and ecological bases of plant breeding // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2005. Vol. 9. No. 4. P. 518–527.
2. Donald C. M. The breeding crop ideotypes // Euphytica. 1968. Vol. 17. No. 3. P. 385–403.
3. Tooming Kh. G. Crop production on the principle of maximum productivity // Agricultural Biology. 1984. No. 9. P. 3–14.
4. Evans L. T. Physiological aspects of varietal improvement // Gene manipulation plant improvement, 16th Stadler genetic symposium. New York, London, 1984. P. 121–146.
5. Lisitsyn E. M. Physiological traits of root systems in cereal crops breeding for abiotic resistance // Vestnik of the Mari State University. Chapter “Agriculture. Economics”. 2018. Vol. 4. No. 3. P. 35–42.

6. Morales F., Ancín M., Fakhet D., González-Torralba J., Gámez A.L., Seminario A., Soba D., Mariem S. B., Aranjuelo M. G. I. Photosynthetic metabolism under stressful growth conditions as a bases for crop breeding and yield improvement // *Plants*. 2020. Vol. 9(1). Art. No. 88. DOI: 10.3390/plants9010088.
7. Flexa J. Genetic improvement of leaf photosynthesis and intrinsic water use efficiency in C3 plants: why so much little success? // *Plant Sci*. 2016. Vol. 251. P. 155–161.
8. Furbank R. T., Quick W. P., Sirault X. R. Improving photosynthesis and yield potential in cereal crops by targeted genetic manipulation: prospects, progress and challenges // *Field Crop. Res*. 2015. Vol. 182. P. 19–29.
9. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding // *Grain Economy of Russia*. 2016. No. 3 (45). P. 31–36.
10. Savichenko D. L., Tsatsenko L. V., Neshchadim N. N. Comparative characteristic of potential and real productivity of the main ear of collection samples of winter wheat having a “multiflorous effect” feature // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2018. No. 3(15). P. 111–116. DOI: 10.25637/TVAN.2018.03.11.
11. Pushkarev D. V., Chursin A. S., Kuz'min O. G., Krasnova Yu. S., Karakoz I. I., Shamanin V. P. Correlation of yield with elements of productivity of varieties of spring soft wheat in the conditions of the steppe zone of the Omsk region // *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2018. No. 3 (31). P. 26–35.
12. Tsybenov B. B., Biltuyev A. S. Formation of spring wheat productivity in arid conditions of Buryatia // *Bulletin of KrasGAU*. 2016. No. 6(117). P. 120–125.
13. Kosenko S. V. Economic and biological assessment of winter soft wheat lines in competitive variety testing // *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2019. No. 2(18). P. 53–59. DOI: 10.33952/2542-0720-2019-2-18-53-59.
14. Hannachi A., Fellahi Z. El A., Bouzerzour H., Boutekrabi A. Correlation, path analysis and stepwise regression in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under rainfed conditions // *J. of Agriculture and Sustainability*. 2013. Vol. 3 (2). P. 122–131.
15. Sidko A. F., Botvich I. Y., Pis'man T. I., Shevyrnogov A. P. Estimation of the chlorophyll content and yield of grain crops via their chlorophyll potential // *Biophysics*. 2017. Vol. 62. No. 3. P. 456–459
16. Volkova L. V., Amunova O. S. The study results of spring wheat varieties for drought resistance in Kirov region // *Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2018. No. 3(24). P. 12–17.
17. Methods of State varietal test of agricultural crops. Iss. 1, 2 // Ed. by Fedin M. A. Moscow: Kolos, 1985. 267 p.
18. Morozova Z. A. Morphogenetic analysis in wheat breeding. Moscow: MSU, 1983. 77 p.
19. Vasyilchuk N. S., Yevdokimova O. A., Zakharchenko N. A., Kymakov V. A., Pozdeev A. I., Chernov V. K., Sher K. N. Some techniques and methods of physiological study of varieties of grain crops in the field // Under general editorship of Kymakov V. A. Saratov, Research Institute of Agriculture of the South-East, 2000. 54 p.
20. Lichtenthaler H. K., Buschmann C. Chlorophylls and carotenoids: measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy // Ed. by Wrolstad R. E., Acree T. E., An H., Decker E. A., Penner M. H., Reid D. S., Schwartz S. J., Shoemaker C. F., Sporns P. New York: John Wiley and Sons, 2001. F4.3.1-F4.3.8.
21. Frenkel M. O. Climate // *Encyclopedia of Vyatka Land*. Vol. 7: Nature // Ed. by Sitnikov V. A. Kirov: Guild of Periodical Publishers (GIPP) “Vyatka”, 1997. P. 142–174.
22. Li P., Chen J., Wu P. Evaluation of grain yield and three physiological traits in 30 spring wheat genotypes across three irrigation regimes // *Crop Sci*. 2012. Vol. 52. P. 110–121.
23. Dupont F. M., Altenbach S. B. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis // *Journal of Cereal Science*. 2003. Vol. 38(2). P. 133-146.
24. Ahmad Z., Waraich E. A., Akhtar S., Anjum S., Ahmad T., Mahboob W., Hafeez O., Tapera T., Labuschange M., Rizwan M. Physiological responses of wheat to drought stress and its mitigation approaches // *Acta Physiol. Plant*. 2018. Vol. 40. Art. No. 80. DOI: 10.1007/s11738-018-2651-6.
25. Daryanto S., Wang L., Jacinthe P. A. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review // *Agric. Water Manag.* 2017. Vol. 179. P. 18–33.
26. Ali M. A., Hussain M., Khan M. I., Ali Z., Zulkiffal M., Anwar J., Sabir W., Zeeshan M. Source-sink relationship between photosynthetic organs and grain yield attributes during grain filling stage in spring wheat (*Triticum aestivum*) // *Int. J. Agric. Biol.* 2010. Vol. 12. P. 509–515.
27. Biswal A. K., Kohli A. Cereal flag leaf adaptations for grain yield under drought: knowledge status and gaps // *Mol. Breeding*. 2013. Vol. 31. P. 749–766.
28. Lepekhov S.B., Korobeynikov N.I. Correlation of spring wheat two top leaves surface and main spike kernels weight // *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2012. No. 11 (97). P. 57–60.
29. Ali M., Abbas A., Niaz S., Zulkiffal M., Ali S. Morpho-physiological criteria for drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor*) at seedling and post-anthesis stages // *Int. J. Agric. Biol.* 2009. Vol. 11. P. 674–680.

30. Sohrabi M., Rafii M. Y., Hanafi M. M., Siti Nor Akmar A., Latif M. Genetic diversity of upland rice germplasm in Malaysia based on quantitative traits // Scientific World Journal. 2012. Article ID 416291. DOI: 10.1100/2012/416291.
31. Long S. P., Marshall-Colon A., Zhu X.-G. Meeting the global food demand of the future by engineering crop photosynthesis and yield potential // Cell. 2015. No. 161(1). P. 56–66.
32. Priadkina H. A. Pigments, efficiency of photosynthesis and winter wheat productivity // Plant Varieties Studying and Protection. 2018. Vol. 14. No. 1. P. 97–108.
33. Nguyen-Sy T., Cheng W., Tawaraya K., Sugawara K., Kobayashi K. Impacts of climatic and varietal changes on phenology and yield components in rice production in Shonai region of Yamagata Prefecture, Northeast Japan for 36 years // Plant Production Science. 2019. Vol. 22(3). P. 382–394.
34. Ali I. H., Shakor E. F. Heritability, variability, genetic correlation and path analysis for quantitative traits in durum and bread wheat under dry farming conditions // Mesopotamia Journal of Agriculture. 2012. Vol. 40(4). P. 27–39.
35. Cox W. J., Jolliff G. D. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits // Agronomy Journal. 1986. Vol. 78. No. 2. P. 226–230.

UDC 633.11:631.559

Volkova L. V., Lisitsyn E. M., Amunova O. S.

ROLE OF GENOTYPE AND WEATHER CONDITIONS IN THE FORMATION MORPHOBIOLOGICAL AND ECONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SPRING SOFT WHEAT

Summary. Assessment of the effect of weather conditions on the variability of plant morphological and physiological traits and productivity is a necessary step for the development of breeding programs for new varieties adapted to cultivation conditions. As a result of three-year studies (2016–2018) of 11 promising cultivars of spring wheat in the conditions of the Volga-Vyatka region, coefficients of variation of morphobiological and economically valuable traits of plants in years contrasting in heat and moisture availability have been determined. Highly stable traits at the population level include the number of germinal roots, the weight of 7-day seedlings, the content of carotenoids in the leaves in the flowering phase, the number of productive tillers, the ear length, the 1000-grain weight ($C_V = 3.9–7.0\%$). The high contribution of genotype to the development of 1000-grain weight (61.8%), number of germinal roots (39.8%), ear length (37.8%), dimensions of flag leaf (29.1–34.6%), content of carotenoids in leaves in flowering phase (31.7%), grain mass per ear (30.8%) was noted. There was a strong influence of the growth conditions on the mass of plants in the tillering and flowering phases (82.6 and 71.0%), duration of the growing season (81.9%), protein and gluten content in the grain (80.8 and 78.8%), plant height (73.3%). The average annual productivity of the studied cultivars varied within 2.00–3.33 t/ha; the contribution of the genotype and environment conditions to the variability of the parameter was 13.9 and 60.4%, respectively; the coefficient of cultivar variability – 21.6–41.5%. We identified traits on which it is necessary to orient breeding on high potential of productivity in specific agro-climatic conditions: 1000-grain weight, number of germinal roots, biomass of plants in the period from flowering to harvesting, size of flag leaf in the phase of flowering, productivity of the main ear, duration of the growing season. It has been found that breeding for stabilization of plant biomass, size of flag leaf and content of photosynthetic pigments in the flowering phase simultaneously leads to an increase of grain yield.

Keywords: spring wheat, *Triticum aestivum L.*, breeding, productivity traits, photosynthetic pigments, yield, coefficient of variation, influence of conditions.

Волкова Людмила Владиславовна, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая лабораторией мягкой яровой пшеницы ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: volkovkirov@mail.ru.

Лисицын Евгений Михайлович, доктор биологических наук, ведущий сотрудник ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: edaphic@mail.ru.

Амунова Оксана Сергеевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого»; 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166-а; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Volkova Lyudmila Vladislavovna, Dr. Sc. (Agr.), head of Laboratory of spring soft wheat, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: volkovkirov@mail.ru.

Lisitsyn Evgeniy Mikhailovich Dr. Sc. (Biol.), leading researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: edaphic@mail.ru.

Amunova Oksana Sergeyevna, Cand. Sc. (Agr.), researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky; 166-a, Lenina str., Kirov, 610007, Russia; e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru.

Дата поступления в редакцию – 09.06.2020.

Дата принятия к печати – 21.07.2020.