

ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА СОРТООБРАЗЦОВ ГЕНОФОНДА МЯГКОЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЁ СОПРЯЖЁННОСТЬ С МОРФОЛОГИЧЕСКИМИ ПРИЗНАКАМИ

Т. В. МЕЛЬНИКОВА, Р. В. МЕЛЬНИКОВ

РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
г. Жодино, Республика Беларусь, 222160, e-mail: melnikovatatsiana@aol.com

(Поступила в редакцию 07.12.2023)

В статье представлены результаты изучения адаптивности коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы различного географического происхождения по показателям экологической стабильности урожайности зерна в 2017–2020 гг. в условиях центральной части Беларуси. Средняя по опыту урожайность варьировала от 56,2 ц/га в 2018 г. до 112,0 ц/га в 2017 г. Минимальный и максимальный уровень урожайности колебался от 41,1 ц/га (Lagidna (Украина)) в 2018 г. до 135,5 ц/га (Dromos (Германия)) в 2017 г. Дисперсионный анализ показал, что сорта, условия выращивания и их взаимодействие были значимы для урожайности зерна. Сорт и взаимодействие сорт×год определили 13,3 и 8,3 % общего изменения урожайности зерна соответственно, в то время как влияние окружающей среды составило 76,2 %. Сорта Элегия, Samuraj, Амелия, Побак, Acratos и Skagen превышали другие сортообразцы по комплексу показателей стабильности и урожайности зерна. Выделенные сорта отличались в среднем лучшей устойчивостью к поражению мучнистой росой (8,2 балла), большим числом колосков в главном колосе (19,6 шт.), числом зёрен в главном колосе и колоске (42,4 шт. и 2,17 шт. соответственно), длиной главного колоса (9,53 см), массой зерна главного колоса (2,14 г.), массой 1000 зёрен (49,7 г.). Были изучены связи между стабильностью и морфологическими признаками с использованием корреляционного анализа. Установлена высокая положительная взаимосвязь между стабильностью и отношением числа колосков в колосе к высоте растений в фазу флагового листа ($r = 0,701$), что может быть использовано как дополнение либо альтернатива существующим методам оценки сортообразцов озимой мягкой пшеницы на стабильность урожайности зерна.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, урожайность зерна, стабильность, кластерный анализ, корреляционный анализ.

The article presents the results of a study of the adaptability of collection samples of winter soft wheat of various geographical origins in terms of environmental stability of grain yield in 2017–2020 in the conditions of the central part of Belarus. The average yield in the experiment ranged from 5.62 t/ha in 2018 to 11.20 t/ha in 2017. The minimum and maximum yield levels ranged from 4.11 t/ha (Lagidna (Ukraine)) in 2018 up to 13.55 t/ha (Dromos (Germany)) in 2017. Analysis of variance showed that varieties, growing conditions and their interaction were significant for grain yield. Variety and the cultivar × year interaction accounted for 13.3 and 8.3 % of the total grain yield variation, respectively, while the environmental effect accounted for 76.2 %. The varieties Elegia, Samuraj, Amelia, Pobak, Acratos and Skagen exceeded other varieties in terms of a set of indicators of stability and grain yield. The selected varieties were distinguished, on average, by better resistance to powdery mildew (8.2 points), a greater number of spikelets in the main ear (19.6 pieces), and the number of grains in the main ear and spikelet (42.4 pieces and 2.17 pieces, respectively), the length of the main ear (9.53 cm), the weight of grain of the main ear (2.14 g), the weight of 1000 grains (49.7 g). Relationships between stability and morphological traits were examined using correlation analysis. A high positive relationship was established between stability and the ratio of the number of spikelets per ear to plant height in the flag leaf phase ($r = 0.701$), which can be used as a complement or alternative to existing methods for assessing winter soft wheat varieties for the stability of grain yield.

Key words: winter soft wheat, grain yield, stability, cluster analysis, correlation analysis.

Введение

Одной из важнейших задач агропромышленного комплекса Беларуси является стабилизация производства зерна зерновых культур, в том числе озимой мягкой пшеницы. Озимая мягкая пшеница обладает наиболее высоким потенциалом продуктивности среди возделываемых зерновых культур, а её урожайность, как и любой культуры, является результатом реализации генетически обусловленного потенциала при взаимодействии с агроэкологическими условиями выращивания [1]. В последнее время изменения климата создают препятствия для реализации генетически обусловленной продуктивности новых сортов озимой мягкой пшеницы по урожайности зерна. Потенциал лучших современных сортов превышает 100 ц/га, однако уровень его реализации в производстве, вследствие относительно низкой их адаптивности, составляет 40–50 % [2].

Важным этапом селекционного процесса является оценка образцов в конкретных экологических условиях по уровню проявления урожайности, пластичности и стабильности. Поиск ценных генетических источников, адаптированных к условиям произрастания является одной из актуальных проблем современной селекции и адаптивность сорта является одним из важнейших его свойств, в следствии чего, этому признаку уделяется значительное внимание в селекционных программах большинства стран мира. О важности селекции озимой мягкой пшеницы на адаптивность свидетельствуют результаты исследований различных авторов [2, 3, 4]. Стабильность – это «показатель устойчивости сорта в реализации определенного фенотипа в различных условиях окружающей среды, способность

сорта сочетать экономное расходование ресурсов условий выращивания с высокой отдачей хозяйственно-полезной продукции» [1]. В широком понимании, стабильным является тот генотип, «на развитие признаков которого колебания погодных условий оказывают незначительное влияние» [1]. Определение параметров экологической пластичности сорта позволяет дать ему всестороннюю оценку, выявить степень адаптивности и его практическую ценность для селекции, а установление связи с морфологическими признаками, определяющими продуктивность, имеет первоочередное значение.

Исходя из вышеизложенного, цель наших исследований состояла в выделении источников повышенного продуктивного и адаптивного потенциала для использования в селекционном процессе в условиях Республики Беларусь.

Основная часть

Исследования по изучению коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы проводили в 2016–2020 гг. в селекционном севообороте «Научно-практического центра НАН республики Беларусь по земледелию» в Смолевичском районе Минской области. Почва опытных участков дерново-подзолистая супесчаная. Агрохимические показатели пахотного горизонта: рН_{KCl} 5,8–6,2, подвижный P₂O₅ – 220–260 мг/кг, обменный K₂O – 200–300 мг/кг, гумус – 2,1–2,3 %. Предшественник – озимый рапс. Площадь делянки 5 м², повторность двукратная, норма высева 400 зерен на м². В качестве контроля использовали сорт белорусской селекции Элегия.

Закладка опытов и учеты проводились согласно принятым в работе с генетическими ресурсами растений методиками UPOV [6]. Обработка, посев и уход за посевами осуществляли в соответствии с агротехникой, общепринятой для возделывания озимой мягкой пшеницы в Республике Беларусь. Экологическую стабильность оценивали по: коэффициенту вариации (CV, %) [7]; коэффициенту регрессии (bi), среднеквадратическому отклонению (S²d) [8]; степени агроэкологической адаптированности сорта (DAAi) [9]; Кильчевскому и Хотылёвой (OACi, σCACi, Sgi, СЦGi) [10]; экваленте (Wi) [11]; стрессоустойчивости (Y₃) [12 цит. по [17]]; max/min [13 цит. по [15]]; гомеостатичности (Ном и Ном₁) [14] и Ном₂ [15]; селекционной ценности (Sc) [16]; компенсаторной способности (Y₄) [17]; относительной стабильности признака (St²) [18]; коэффициенту экологической пластичности (O) [19 цит. по [15]]; коэффициенту адаптивности (KA) [20]; коэффициенту мультипликативности (ai) [21], показателю преимущества сорта (Pi) [22]; коэффициенту стабильности (KC) [23]; индексу восприимчивости к стрессу (SSI) [24]; среднегеометрической продуктивности (GMP) [25]; индексу стрессоустойчивости (STI) [25]; генотипическому эффекту (Ei) [26]; средней вариации генотипа (Si4) [27]; показателю уровня и стабильности сорта (Пусс) [28] и коэффициенту стрессоустойчивости (Kст) [29].

В годы проведения исследований отмечались значительные отклонения от средних многолетних значений по метеорологическим условиям, что позволило провести объективную оценку стабильности сортообразцов. Весенне-летние вегетационные периоды 2017–2019 гг. характеризовались как слабо засушливые (ГТК=1,0; 1,05; 1,13 соответственно). Весна 2017 г. была затяжной и холодной, и в дальнейшем, среднемесячный температурный фон был на 0,4–1,3 °С ниже нормы. В 2018 г., напротив, отмечалась аномально теплая погода. Температура в апреле-мае была выше на 3,2–3,6 °С среднемесячной, в июне-июле – на 0,8–1,1 °С, при этом до фазы цветения выпало осадков 24,0 % от нормы, что свидетельствует о крайне неблагоприятных условиях для роста и развития растений озимой пшеницы. Вегетационный период 2019 г. можно охарактеризовать как резко контрастный по увлажнению (от 16 % (I декада июня) до 330 % (I декада мая) среднемесячных значений) и температуре (от -3,0 °С (I декада июля) до +6,0 °С (II декада июня) к норме). В 2020 г. условия увлажнения в период вегетации озимой пшеницы были близкими к среднемесячным значениям, а температурный режим изменялся от -2,4 °С к норме в мае до +3,4 °С – в июне (ГТК=2,05).

Статистическую обработку экспериментального материала методами дисперсионного, корреляционного и кластерного анализов осуществляли с использованием ЭВМ и программ MS Excel, Minitab Statistical Software 19.

Результаты дисперсионного анализа показали, что сорта, условия выращивания и их взаимодействие были значимыми для урожайности зерна. (табл. 1). Сорт и взаимодействие сорт×год определяли 13,3 и 8,3 % общей изменчивости урожайности зерна соответственно в то время, как влияние окружающей среды составило 76,2 %.

Таблица 1. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа по урожайности зерна (за 2017–2020 гг.)

Источник вариации	SS	df	MS	F	F крит.	Доля влияния, %
Сорт	20747	35	592,8	24,4	1,5050	13,3
Год	119296	3	39765,2	1633,9	2,6674	76,2
Взаимодействие	13033	105	124,1	5,1	1,3440	8,3
Внутри	3505	144	24,3			2,2

Урожайность зерна значительно варьировала в зависимости от условий выращивания и генотипа. На фоне высоких температур и значительного недобора осадков в фазу «выход в трубку-цветение» наименьшая средняя по опыту урожайность зерна отмечена в 2018 г. (индекс среды $I_j = -32,5$) – 56,2 ц/га. Более благоприятные условия для роста и развития растений озимой пшеницы были в 2019 г. ($I_j = +1,7$) и 2020 г. ($I_j = +7,5$), а максимальная урожайность зерна (в среднем по сортообразцам – 112,0 ц/га) была получена в 2017 г. ($I_j = +23,2$). Размах варьирования между сортообразцами по годам составил от 34,9 ц/га до 49,8 ц/га. Абсолютный минимальный и максимальный уровень урожайности зерна изменялся от 41,1 ц/га у сорта Lagidna (Украина) в 2018 г. до 135,5 ц/га у сорта Dromos (Германия) в 2017 г.

Для оценки адаптивности сортов предложено большое количество алгоритмов, основанных на различных моделях и, по мнению ряда авторов, оценка параметров стабильности на основании только одной для объективной характеристики недостаточна, т. к. при оптимальных условиях выращивания уровень урожайности обусловлен комплексами генов продуктивности, а в стрессовых – генетическими системами устойчивости [3]. Расчет стабильности по различным методикам оценки с дальнейшим выведением комплексного показателя представлен в табл. 2. В связи с тем, что использованные методики представляют данные в числовых значениях различной размерности и шкалой измерений было проведено нормирование методом z-стандартизации [30] с дальнейшим вычислением суммы полученных значений (Σ стаб.). Методики, подразумевающие наименьшее значение показателя, у стабильных сортов вычитались (CV, b_i , S^2d , σCAC_i , Sgi, Wi, Y_3 , max/min, ai, Pi, SSI, Si4).

Таблица 2. Стандартизированные показатели стабильности урожайности зерна сортообразцов озимой мягкой пшеницы (за 2017–2020 гг.)

Сортообразец	Происхождение	Урожайность, ц/га	CV	b_i	S^2d	DAAi	OACi	σCAC_i	S gi	ЦЦГ i	Wi	Y_3	max/min	Hom	Hom ₁
Элегия	Беларусь	90,6	-2,27	-2,10	0,36	0,82	0,22	-2,03	-2,28	2,11	2,50	-2,04	-1,85	3,09	4,14
Достаток	Украина	88,0	1,22	1,11	-0,46	-0,14	-0,09	1,08	1,22	-1,10	-0,19	1,22	1,32	-0,93	-0,92
Нива Київщини	Украина	88,3	-0,10	-0,03	-0,50	0,24	-0,05	-0,11	-0,10	0,06	-1,03	0,04	-0,17	-0,12	-0,26
Калита	Украина	89,8	1,60	1,56	-0,54	-0,05	0,13	1,55	1,60	-1,36	0,55	1,64	1,88	-1,04	-1,03
Княгиня Ольга	Украина	92,2	0,81	0,98	-0,43	-0,24	0,41	0,95	0,81	-0,57	-0,34	0,88	0,95	-0,57	-0,71
Ластівка одеськ.	Украина	88,1	0,66	0,64	-0,60	-0,53	-0,07	0,57	0,66	-0,60	-0,83	0,52	0,71	-0,63	-0,64
Голубка одеська	Украина	86,7	0,55	0,48	-0,70	-0,43	-0,24	0,40	0,55	-0,57	-1,02	0,44	0,56	-0,62	-0,62
Viktoria odes'ka	Украина	86,7	-0,15	-0,13	-0,60	-0,63	-0,24	-0,23	-0,15	0,02	-1,09	-0,27	-0,17	-0,15	-0,14
Lada odes'ka	Украина	77,0	1,50	0,23	2,98	-1,01	-1,38	0,60	1,49	-1,69	1,56	0,45	0,72	-1,41	-0,95
Odes'ka 267	Украина	90,2	1,78	1,57	1,32	0,53	0,17	1,74	1,78	-1,51	1,93	-1,71	1,65	-1,11	-1,07
Канвеер	Беларусь	83,0	0,17	-0,11	-0,13	-0,34	-0,68	-0,14	0,17	-0,41	-0,74	-0,07	-0,01	-0,53	-0,41
Samurai	Германия	100,6	-1,17	-0,46	-0,73	1,49	1,40	-0,60	-1,15	1,70	-1,05	-0,53	-1,02	1,61	0,93
Яворина	Украина	74,1	-0,56	-1,07	-0,41	-1,68	-1,73	-1,18	-0,58	-0,28	-0,21	-1,22	-0,57	-0,39	0,26
Voloshkova	Украина	87,3	-0,59	-0,67	0,61	-0,82	-0,17	-0,60	-0,59	0,43	0,09	-0,91	-0,73	0,25	0,45
Khurtovyna	Украина	77,5	-1,36	-1,46	-0,80	-1,20	-1,32	-1,66	-1,38	0,51	0,16	-1,51	-1,15	0,58	1,19
Lagidna	Украина	85,6	1,79	1,46	-0,64	-1,11	-0,37	1,42	1,79	-1,66	0,27	1,40	2,30	-1,25	-1,07
83W023034	США	74,3	0,15	-0,53	-0,39	-1,49	-1,70	-0,62	0,13	-0,79	-0,76	-0,47	0,02	-0,86	-0,42
Prairie Red	США	79,8	0,41	-0,07	-0,23	-1,59	-1,05	-0,12	0,40	-0,74	-0,82	-0,20	0,43	-0,80	-0,49
Batis	Германия	97,9	0,44	0,98	-0,73	1,01	1,08	0,91	0,44	0,01	-0,57	0,99	0,44	-0,12	-0,57
Cubus	Германия	99,9	1,07	1,70	-0,71	1,11	1,32	1,68	1,07	-0,52	0,73	1,68	1,23	-0,45	-0,84
Dromos	Германия	101,7	0,72	1,42	-0,28	1,59	1,53	1,43	0,73	-0,12	0,47	1,52	0,67	-0,18	-0,71
Vil'shana	Украина	72,6	-0,71	-1,38	0,30	-1,30	-1,90	-1,35	-0,73	-0,25	0,81	-1,29	-0,92	-0,34	0,35
Этана	Германия	95,7	1,01	1,30	0,27	0,05	0,83	1,36	1,02	-0,62	0,66	1,17	1,19	-0,56	-0,77
Acratos	Германия	93,9	-1,09	-0,82	0,35	0,43	0,61	-0,78	-1,08	1,24	0,04	-0,96	-1,08	1,14	1,02
Catalus	Германия	97,2	-0,22	0,22	0,02	0,72	1,00	0,22	-0,21	0,60	-0,62	0,09	-0,25	0,37	-0,05
Хоревия	Украина	86,5	-0,63	-0,62	-0,14	-0,72	-0,26	-0,67	-0,63	0,42	-0,51	-0,80	-0,66	0,25	0,37
Платин	Германия	99,7	-0,14	0,51	-0,73	1,30	1,30	0,42	-0,13	0,65	-1,03	0,47	-0,16	0,40	-0,19
Famulus	Германия	91,8	0,96	1,13	-0,74	0,14	0,36	1,07	0,96	-0,72	-0,36	1,09	1,09	-0,67	-0,80
Skagen	Германия	105,1	-1,53	-0,74	-0,33	1,68	1,93	-0,82	-1,52	2,34	-0,54	-0,91	-1,35	2,46	1,76
Юнона	Россия	78,3	0,16	-0,96	3,67	-1,40	-1,24	-0,40	0,16	-0,62	2,65	-0,81	-0,40	-0,72	-0,18
Мера	Россия	85,0	-0,72	-1,11	1,87	0,63	-0,44	-0,81	-0,72	0,41	1,53	-0,74	-0,92	0,26	0,33
Капылянка	Беларусь	77,6	-0,64	-1,03	-0,13	-0,91	-1,31	-1,08	-0,66	-0,04	-0,06	-0,84	-0,66	-0,16	0,16
Влади	Россия	87,7	-0,95	-0,98	0,58	0,91	-0,12	-0,90	-0,95	0,76	0,40	-0,73	-1,01	0,64	0,54
Ода	Беларусь	87,9	0,02	0,00	-0,08	0,34	-0,10	-0,02	0,02	-0,06	-0,71	0,12	-0,13	-0,23	-0,33
Амелия	Беларусь	97,1	-1,27	-0,71	-0,63	1,40	0,98	-0,84	-1,26	1,60	-0,79	-0,72	-1,13	1,57	1,05
Побак	Германия	98,8	-0,94	-0,32	-0,67	1,20	1,19	-0,44	-0,93	1,38	-1,08	-0,39	-0,84	1,21	0,62

Сортообразец	Hom ₂	Sc	Y ₄	St ²	O	KA	ai	Pi	KC	SSI	GMP	STI	Еi	Si ₄	Плсс	Ксг	Σстаб.
Элегия	-0,03	2,22	0,22	1,84	3,41	0,56	-2,38	-0,09	3,52	-2,46	0,71	0,68	0,22	-1,65	2,53	1,51	44,02
Достаток	0,05	-1,07	0,05	-1,27	-1,04	-0,26	1,28	-0,16	-1,11	1,24	-0,33	-0,37	-0,09	1,08	-0,79	0,14	-19,24
Нива Київщини	0,09	-0,02	0,24	0,20	-0,11	-0,03	-0,01	-0,25	-0,25	-0,01	0,28	0,23	-0,05	-0,21	-0,14	0,92	3,70
Калита	0,22	-1,28	0,09	-1,75	-1,24	-0,12	1,66	-0,29	-1,27	1,59	-0,45	-0,48	0,13	1,67	-0,84	-0,09	-24,90
Княгиня Ольга	0,34	-0,64	-0,08	-0,77	-0,79	0,25	0,88	-0,58	-0,75	0,97	-0,34	-0,38	0,41	0,93	-0,38	-1,55	-13,18
Ластівка одеська	-0,14	-0,70	-0,46	-0,60	-0,69	-0,20	0,75	-0,20	-0,66	0,79	-0,63	-0,65	-0,07	0,49	-0,55	-1,33	-13,33
Голубка одеська	-0,21	-0,67	-0,37	-0,48	-0,62	-0,33	0,66	-0,05	-0,65	0,67	-0,50	-0,53	-0,24	0,30	-0,59	0,59	-9,93
Viktoria odes'ka	-0,33	-0,11	-0,56	0,25	-0,06	-0,25	-0,04	-0,04	-0,03	-0,01	-0,48	-0,51	-0,24	-0,33	-0,22	-0,61	-1,09
Lada odes'ka	-1,41	-1,27	-0,63	-1,62	-1,19	-1,46	1,01	1,61	-1,06	0,80	-0,79	-0,80	-1,38	0,52	-1,41	-0,51	-33,47
Odes'ka 267	0,16	-1,15	0,53	-1,99	-1,32	-0,05	1,65	-0,18	-1,29	1,45	0,00	-0,04	0,17	1,93	-0,88	-0,54	-27,71
Канвеєр	-0,61	-0,45	-0,41	-0,07	-0,33	-0,68	0,19	0,46	-0,40	0,15	-0,38	-0,41	-0,68	-0,25	-0,63	0,57	-6,52
Samurai	1,51	1,70	1,47	1,12	1,12	1,56	-1,00	-1,21	0,98	-1,05	1,70	1,77	1,40	-0,66	1,82	0,44	34,36
Яворина	-1,70	-0,54	-2,13	0,63	0,35	-1,67	-0,50	2,00	0,44	-0,46	-1,86	-1,72	-1,73	-1,11	-0,80	-0,29	-8,98
Voloshkova	-0,64	0,46	-0,79	0,65	0,38	-0,10	-0,68	0,01	0,79	-0,66	-0,54	-0,57	-0,17	-0,66	0,11	-0,34	4,77
Khurtovyna	-1,14	0,25	-1,27	1,27	1,42	-1,16	-1,18	1,41	1,17	-1,25	-0,90	-0,90	-1,32	-1,44	-0,02	0,73	9,51
Lagidna	-0,38	-1,66	-0,81	-2,01	-1,33	-0,65	1,86	0,20	-1,29	1,82	-1,36	-1,30	-0,37	1,51	-1,10	-2,26	-35,16
83W023034	-1,46	-0,97	-1,47	-0,05	-0,32	-1,70	0,20	1,87	-0,45	0,18	-1,38	-1,32	-1,70	-0,67	-1,11	0,70	-15,58
Prairie Red	-1,11	-0,95	-1,60	-0,32	-0,52	-1,13	0,43	0,93	-0,43	0,56	-1,60	-1,51	-1,05	-0,22	-0,91	-1,23	-18,53
Batis	1,21	0,01	1,09	-0,35	-0,54	0,99	0,55	-1,04	-0,60	0,57	0,88	0,86	1,08	0,88	0,17	0,69	3,06
Cubus	1,41	-0,45	1,09	-1,08	-0,95	1,11	1,16	-1,04	-0,96	1,18	0,63	0,59	1,32	1,84	-0,05	-1,60	-9,92
Dromos	1,75	0,04	1,79	-0,67	-0,74	1,40	0,79	-1,15	-0,80	0,76	1,45	1,49	1,53	1,51	0,25	0,35	1,35
Vil'shana	-1,74	-0,32	-1,36	0,76	0,52	-1,76	-0,84	2,37	0,47	-0,91	-1,05	-1,03	-1,90	-1,24	-0,81	1,08	-4,71
Этана	0,65	-0,63	0,12	-1,01	-0,92	0,63	1,01	-0,78	-0,80	1,15	-0,23	-0,28	0,83	1,43	-0,27	-1,82	-15,59
Acratos	0,24	1,31	0,29	1,06	1,00	0,76	-1,11	-0,67	1,26	-1,14	0,58	0,54	0,61	-0,81	1,10	0,24	22,59
Catalus	0,83	0,59	0,58	0,32	0,01	1,00	-0,18	-0,99	0,10	-0,10	0,62	0,59	1,00	0,11	0,58	-0,63	10,15
Хоревиця	-0,51	0,34	-0,70	0,68	0,42	-0,20	-0,59	0,04	0,59	-0,57	-0,48	-0,51	-0,26	-0,72	0,08	-0,26	5,73
Платин	1,40	0,65	1,30	0,24	-0,07	1,29	-0,01	-1,17	-0,14	0,00	1,27	1,28	1,30	0,33	0,70	-0,45	13,85
Famulus	0,39	-0,75	0,12	-0,94	-0,88	0,19	1,06	-0,55	-0,90	1,08	-0,20	-0,24	0,36	1,07	-0,48	-1,50	-14,36
Skagen	1,78	2,52	1,82	1,39	1,71	2,15	-1,42	-1,29	1,82	-1,56	2,14	2,29	1,93	-0,84	2,84	0,69	46,10
Юнона	-1,61	-0,42	-1,40	-0,07	-0,33	-1,17	-0,59	1,45	0,14	-0,27	-1,21	-1,18	-1,24	-0,48	-0,90	0,32	-17,41
Мера	-0,41	0,51	0,38	0,76	0,52	-0,25	-1,08	0,34	0,42	-0,91	0,62	0,59	-0,44	-0,84	0,04	1,17	9,21
Капьянка	-1,02	-0,23	-0,80	0,70	0,44	-1,20	-0,64	1,34	0,14	-0,57	-0,58	-0,60	-1,31	-1,04	-0,53	0,65	-0,58
Влади	0,04	0,80	0,77	0,95	0,81	0,07	-1,04	-0,06	0,56	-1,04	1,03	1,02	-0,12	-0,91	0,43	1,60	18,29
Ода	0,02	-0,07	0,34	0,08	-0,21	-0,08	0,05	-0,17	-0,34	0,03	0,36	0,32	-0,10	-0,13	-0,24	0,74	1,44
Амелия	1,14	1,61	1,37	1,20	1,28	1,18	-1,12	-0,98	1,06	-1,22	1,65	1,70	0,98	-0,86	1,61	1,69	34,62
Побак	1,25	1,34	1,16	0,95	0,80	1,30	-0,79	-1,12	0,71	-0,80	1,35	1,38	1,19	-0,52	1,38	0,20	27,44

Проведенный анализ стабильности по признаку урожайности зерна показал, что по сумме стандартизированных значений выделились сортообразцы Skagen (46,1), Элегия (44,0), Амелия (34,6), Samurai (34,4), Побак (27,4), Acratos (22,6).

На основании рассчитанных показателей стабильности проведен иерархический кластерный анализ по метрике манхэттенского расстояния с использованием метода McQuitty. Полученная в результате этого анализа схема показала, что сортообразцы были разделены на четыре основных кластера (рис. 1, 2). Кластер-1, объединивший сортообразцы Skagen, Элегия, Амелия, Samurai, Побак и Acratos, характеризуется как высокостабильный (22,6–46,1) и высокоурожайный (90,6–105,1 ц/га) (табл. 3). Кластер-2 включает низкостабильные (-19,24–33,5) и относительно низкоурожайные (77,0–90,2 ц/га) сорта: Достаток, Калита, Odes'ka 267, Lagidna, Lada odes'ka. Средним уровнем стабильности характеризовались сортообразцы, включённые в кластер-3 и кластер-4 (-18,53–18,29), при этом в кластер-4 вошли высокоурожайные (91,8–101,7 ц/га) сортообразцы: Княгиня Ольга, Famulus, Этана, Cubus, Batis, Dromos, Catalus, Платин, а в кластер-3 – относительно низкоурожайные (72,6–88,3 ц/га): Нива Київщини, Ода, Viktoria odes'ka, Канвеєр, Ластівка одеська, Голубка одеська, 83W023034, Prairie Red, Юнона, Яворина, Vil'shana, Капьянка, Khurtovyna, Voloshkova, Хоревиця, Мера, Влади.

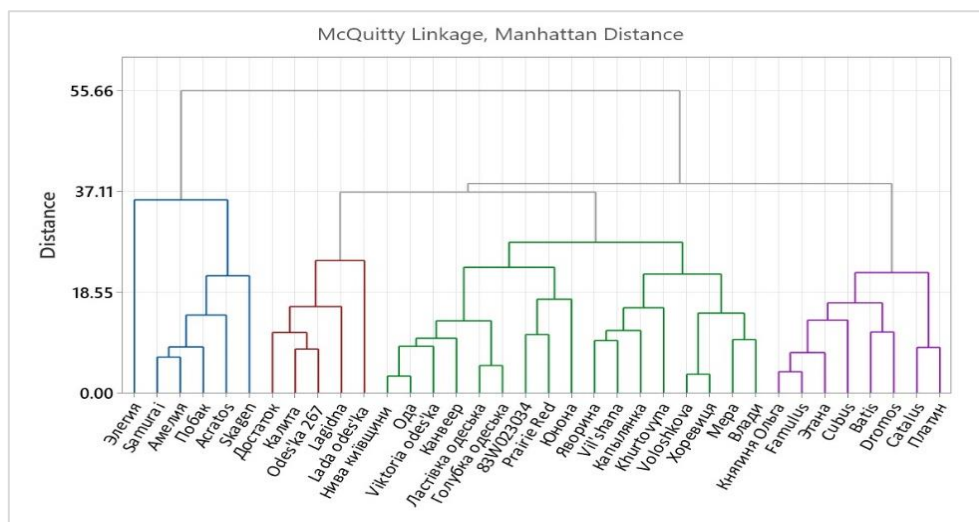


Рис. 1. Дендрограмма кластеризации сортообразцов озимой мягкой пшеницы по показателям стабильности урожайности зерна (за 2017–2020 гг.).

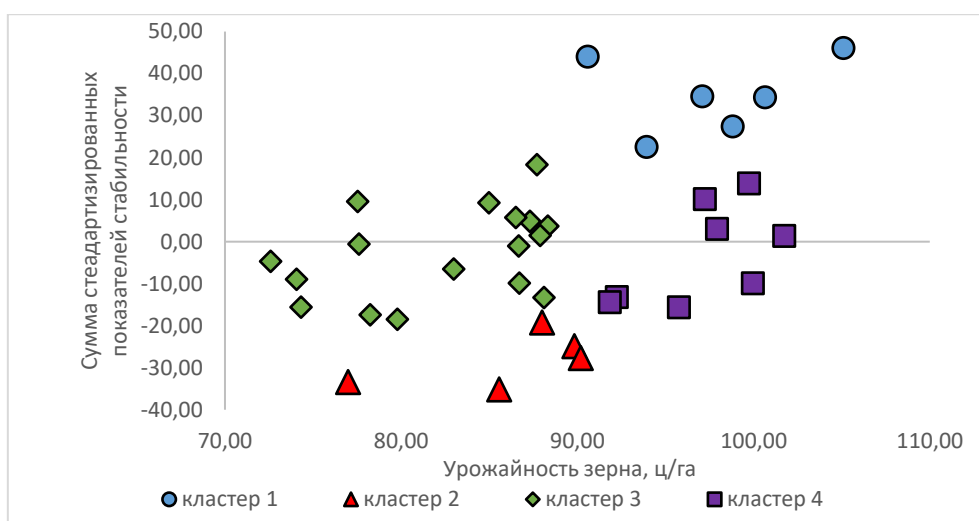


Рис. 2. Распределение сортообразцов озимой мягкой пшеницы по урожайности зерна и её стабильности (среднее за 2017–2020 гг.)

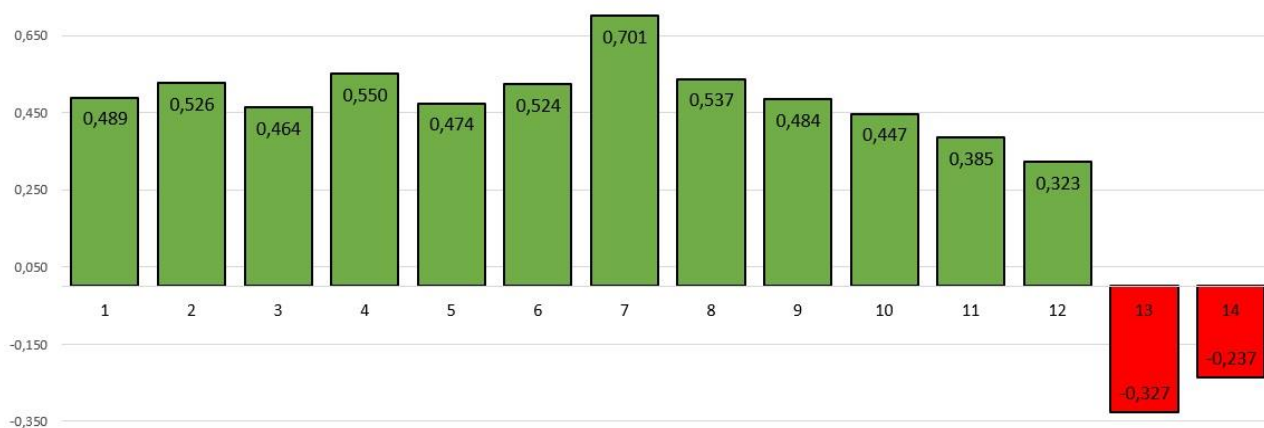
Сортообразцы, включенные в кластер-1 (табл. 3), характеризовались лучшей устойчивостью к поражению мучнистой росой (8,2 балла), большим числом колосков в главном колосе (19,6 шт.), числом зёрен в главном колосе и колоске (42,4 шт. и 2,17 шт. соответственно), длиной главного колоса (9,53 см), массой зерна главного колоса (2,14 г) и массой 1000 зёрен (49,7 г).

Таблица 3. Характеристика кластеров сортообразцов по хозяйственно ценным признакам (среднее за 2017–2020 гг.)

Кластер	Σстаб.	Урожайность, ц/га		Устойчивость к, балл					В(фл), см	В(пс), см	ПрК, шт.	ЧКК, шт.	ЧЗК, шт.	ЧЗКл, шт.	ДлК, см	ПлК, шт./10 см	МЗК, г	М1000, г	Содержание, %	
		ср.	lim	ПЗ	Пл	МР	СП	СК											Б	К
1	34,9	97,7	90,6–105,1	7,6	8,7	8,2	7,6	7,0	75,6	87,6	3,94	19,6	42,4	2,17	9,53	19,7	2,14	49,7	14,0	29,3
2	-28,1	86,1	77,0–90,2	8,0	8,3	7,8	7,7	7,5	77,1	86,0	3,88	18,1	36,5	2,01	8,43	20,4	1,68	44,6	14,4	29,9
3	-2,6	82,4	72,6–88,3	8,0	8,3	7,8	7,8	6,8	72,0	94,9	3,97	17,8	36,2	2,03	8,88	19,0	1,81	46,3	14,7	30,7
4	-3,1	97,0	91,8–101,7	7,8	8,8	8,0	7,5	7,2	77,1	88,1	4,32	18,9	38,3	2,02	9,06	19,9	2,10	48,5	14,3	29,9
Среднее по опыту	0,0	88,7	72,6–105,1	7,9	8,5	7,9	7,7	7,0	74,5	90,9	4,03	18,4	37,7	2,05	8,97	19,5	1,91	47,1	14,4	30,2

Показатели: Σстаб. – сумма стандартизованных показателей стабильности, ПЗ – перезимовка, балл; Пл – полегание растений, балл; МР – мучнистая роса, балл; СП – снежная плесень, балл; СК – септориоз колоса, балл; В(фл) – высота растений в фазу флагового листа, см; В(пс) – высота растений в фазу полной спелости, см; ПрК – продуктивная кустистость, шт.; ЧКК – число колосков в главном колосе, шт.; ЧЗК – число зёрен в главном колосе, шт.; ЧЗКл – число зёрен в колоске, шт.; ДлК – длина главного колоса, см; ПлК – плотность главного колоса, шт./10 см; МЗК – масса зерна главного колоса, г; М1000 – масса 1000 зёрен, г; Б – содержание сырого белка, %; К – содержание сырой клейковины, %.

Проведённый корреляционный анализ установил различный характер и тесноту связи суммы стандартизированных показателей стабильности урожайности зерна с морфологическими признаками растений озимой пшеницы. Наиболее значимые коэффициенты парной корреляции представлены на рис. 3.



Показатели: 1 – урожайность, ц/га, 2 – число колосков в главном колосе, шт., 3 – число зёрен в главном колосе, шт., 4 – длина главного колоса, см, 5 – масса зерна главного колоса, г, 6 – масса 1000 зёрен, г, 7 – число колосков в колосе/высота в фазу флагового листа, 8 – длина колоса/высота в фазу флагового листа, 9 – масса зерна главного колоса/высота в фазу флагового листа, 10 – масса 1000 зёрен/высота в фазу флагового листа, 11 – мексиканский индекс, 12 – индекс перспективности, 13 – содержание сырого белка, %, 14 – содержание сырой клейковины, %.

Рис. 3. Коэффициенты парной корреляции суммы стандартизированных показателей стабильности урожайности зерна с морфологическими признаками сортообразцов озимой мягкой пшеницы (среднее за 2017–2020 гг.)

Корреляционная связь с урожайностью зерна была положительная слабая (согласно шкале Чеддока) – 0,489, с числом колосков в главном колосе, длиной главного колоса, массой 1000 зёрен и отношением длины главного колоса к высоте растений в фазу флагового листа положительная средняя – 0,526, 0,550, 0,524 и 0,537 соответственно. Положительная высокая связь установлена с отношением числа колосков в главном колосе к высоте растений в фазу флагового листа – 0,701. С содержанием сырых белка и клейковины корреляционная связь была отрицательная: с содержанием белка – слабая (-0,327), с содержанием клейковины – очень слабая (-0,237).

Заключение

Проведена оценка коллекционных сортообразцов озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения по урожайности зерна и показателям стабильности в контрастных условиях выращивания. В результате изучения выделены сорта, существенно превысившие другие сортообразцы по экологической стабильности и урожайности зерна: Элегия, Samurai, Амелия, Побак, Acratos и Skagen, характеризовавшиеся в среднем лучшей устойчивостью к поражению мучнистой росой (8,2 балла), большим числом колосков в главном колосе (19,6 шт.), числом зёрен в главном колосе и колоске (42,4 шт. и 2,17 шт. соответственно), длиной главного колоса (9,53 см), массой зерна главного колоса (2,14 г.), массой 1000 зёрен (49,7 г). Данные коллекционные сортообразцы предлагается использовать в качестве родительских форм для создания новых высокоадаптивных высокоурожайных сортов озимой мягкой пшеницы в Беларуси. Установлена высокая положительная взаимосвязь между стабильностью и отношением числа колосков в колосе к высоте растений в фазу флагового листа – 0,701, что может быть использовано как дополнение либо альтернатива существующим методам оценки сортообразцов озимой мягкой пшеницы по стабильности урожайности зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жученко, А. А. Адаптивное растениеводство. Эколого-генетические основы: Монография. – Кишинев, 1990. – 567 с.
2. Гриб, С. И. Приоритеты стратегии и направления селекции полевых культур в Беларуси / С. И. Гриб // Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», Жодино, 05–06 июля 2017 года. – Жодино: ИВЦ Минфина, 2017. – С. 214–215.
3. Гончаренко, А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур / А. А. Гончаренко // Вестник РАСХН. – 2005. – № 6. – С. 49–53.
4. Москалец, Т. Н. Проявление стабильности и пластичности генотипов пшеницы мягкой озимой в условиях лесостепного экотопа / Т. Н. Москалец // Вестник украинского общества генетиков и селекционеров, 2015. – № 1. – С. 51–55.
5. Изучение мировой коллекции пшеницы. Методические указания / под ред. В. Ф. Дорофеева. – Л.: ВИР, 1977. – 27 с.
6. Широкий унифицированный классификатор Беларуси *Triticum L.* / Ф. И. Привалов [и др.]. // РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». – Минск, 2011. – 48 с.

7. Francis, T. R. Yield stability studies in short-season maize. I. A descriptive method for grouping genotypes. / T. R. Francis, L. W. Kannenberg // *Can. J. Plant Sci.*, 1978. – №58. – P. 1029–1034.
8. Eberhart, S. A. Stability parameters for comparing varieties / S. A. Eberhart, W. A. Russel // *Crop Sci*, 1966. – V. 6. – No. 1. – P. 36–40.
9. Методика оценки агроэкологической адаптированности генотипов в условиях глобального потепления климата. / А. И. Кинчаров [и др.] // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. – 2022, – № 183(4). – С. 39–47.
10. Кильчевский, А. В. Экологическая селекция растений / А. В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. – Минск: Тэхналогія, 1997. – 327 с.
11. Wricke, C. Under line method zur Erfassung der ecologischen Strenbreite in Feldversuchen / C. Wricke // *Z. Pflanzenernahrung*. 1962. – Vol. 47. – № 1. P. 92–96.
12. Langer, I. Association among productivity, production response and stability index in oat varieties / I. Langer // *Euphytica*. – 1979. – Vol. 28. – P. 14–17.
13. Lewis, D. Comparative incompatibility in angiosperms and fungi. / D. Lewis // *Advances in Genetics*, 1954. – Volume 6, – Pages – 235–285.
14. Хангильдин, В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур / В. В. Хангильдин // *Научный технический бюллетень ВСГИ*. 1986. – № 2/60. – С. 36–41.
15. Смирязев, А. В. Биометрические методы в селекции растений / А. В. Смирязев, М. В. Гохман. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
16. Хангильдин, В. В. Параметры оценки гомеостатичности сортов и селекционных линий в испытаниях колосовых культур / В. В. Хангильдин // *Научный технический бюллетень ВСГИ*. 1986. – № 2/60. – С. 36–41.
17. Rossielle, A. A. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments / A. A. Rossielle, J. Hamblin // *Crop. Sci.* 1981. – V.21. – № 6. – P. 27–29.
18. Соболев, Н. А. Проблема отбора и оценка селекционного материала / Н. А. Соболев, – Киев, 1980. – С. 100–106.
19. Баранский, Д. И. Экологическая пластичность и ее роль в процессе перерождения сортосмеси / Д. И. Баранский // *Вісник селекції та селекційно-генетичної роботи в Україні*. 1926. – № 2. – С. 81–91.
20. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» / Л. А. Животков [и др.]. // *Селекция и семеноводство*. 1994. – № 2. – С. 3–6.
21. Генетика признаков продуктивности яровой пшеницы в Западной Сибири / В. А. Драгавцев [и др.]. // *Новосибирск: Наука*, 1984. – 229 с.
22. Lin C. S. Stability analysis: where do we stand? / C. S. Lin, M. R. Binns, L. P. Lefkovich // *Crop Science*. – 1986. – Vol. 26, № 5. – P. 894–900.
23. Пакудин, В. З. Параметры оценки экологической пластичности сортов и гибридов. Теория отбора в популяциях растений. – Новосибирск: Наука, 1976. – 189 с.
24. Fischer, R. A., Maurer R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. / Fischer, R. A., Maurer R. // *Australian Journal of Agricultural Research*, – 1978. – Vol. 29, – P. 897–917.
25. Fernandez, G.C.J. Effective selection criteria for assessing stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress Tolerance. Asian Vegetable Research and Development Centre. – Taiwan, 1992. – P. 257–270 p.
26. Гурьев, Б. П. Методические рекомендации по экологическому сортоиспытанию кукурузы / Б. П. Гурьев, П. П. Литун, И. А. Гурьева: под ред. Б. П. Гурьева. – Харьков: УНИИРСИГ им. В. Я. Юрьева, 1981. – 32 с.
27. Becker, H. C. Stability analysis in plant breeding / H. C. Becker, J. Leon // *Plant Breeding*, 1988. – Vol. 101. – № 1. – P. 1–23.
28. Неттевич, Э. Д. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качества зерна / Э. Д. Неттевич // *Вестник сельскохозяйственной науки*. – 1985. – № 1. – С. 66–73.
29. Быков, А. В. Морфо-биологические особенности и агроклиматический потенциал урожайности сортов *Beta vulgaris* var. *conditinaalef* в Западной Сибири / А. В. Быков // *Международный научно-исследовательский журнал*, 2017. – № 7. – Ч. 2. – С. 59–62.
30. Медник, М. Основы прикладной статистики / М. Медник. – Москва: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.