

УДК 633.11:002.237

DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-43-48

ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПО АДАПТИВНЫМ СВОЙСТВАМ ПРИЗНАКА «МАССОВАЯ ДОЛЯ БЕЛКА В ЗЕРНЕ»

Н. С. Кравченко, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

Е. В. Ионова, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель центра фундаментальных исследований, ORCID ID: 0000-0002-2840-6219;

С. В. Подгорный, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой мягкой пшеницы интенсивного типа, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

Н. Н. Вожжова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории маркерной селекции, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000

ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, г. Зерноград, Научный городок, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Представлены результаты изучения образцов озимой мягкой пшеницы по адаптивным свойствам признака «массовая доля белка». Целью исследований являлось выявление генотипов озимой мягкой пшеницы с высокой урожайностью, массовой долей белка, обладающих адаптивными свойствами к условиям выращивания. Объектом исследований были сорта озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения. Полевые опыты проводили в 2016–2018 гг. на полях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской». Содержание белка определяли на инфракрасном анализаторе SpektraStar 2200. В среднем за годы исследований содержание белка в зерне варьировало от 12,7% (Webster) до 14,8% (Л 19578). Определено, что к 1-му классу относился образец Л 19578 (14,8%), 22 образца соответствовали 2-му классу качества и 8 образцов – 3-му классу по массовой доле белка в зерне. Выяснено, что на формирование белка условия года оказывают определяющее влияние (90,7%). Фактор «сорт» влияет на проявление признака на 6,4%. Взаимодействие между факторами достоверно и составляет 2,9%. Установлены генотипы, отзывчивые на улучшение условий выращивания, у которых b_1 достоверно выше 1: Vinnichanka ($b_1 = 2,82$), Slavna ($b_1 = 1,88$), Zlatka ($b_1 = 1,87$) и др. Выявлены генотипы, у которых отрицательные значения b_1 : Ермак ($b_1 = -0,70$), Л 19578 ($b_1 = -1,41$), № 42 CIMMYT ($b_1 = -1,99$) и др., что свидетельствует об их высокой пластичности к условиям выращивания. Определена группа сортов, у которых значения b_1 достоверно не отклоняются от 1: Shestopalivka ($b_1 = 0,54$), Чорнява ($b_1 = 0,73$), KS 96 WGRC 37 ($b_1 = 1,38$) и др., это свидетельствует о том, что изменение признака у этих сортов будет в точности следовать за изменением условий среды. Установлено, что наиболее стабильными на изменения условий среды являлись сорта Ермак ($C_v = 1,1\%$; $Hom = 11\ 637,6$), Shestopalivka ($C_v = 1,4\%$; $Hom = 2580,2$), MV 15-09 ($C_v = 1,7\%$; $Hom = 1784,9$) и др., о чем свидетельствует сочетание наименьших значений коэффициента вариации и высокой гомеостатичности. Расчет взаимосвязей показал высокую корреляционную связь C_v и S^2_1 ($r = 0,91$), C_v и b_1 ($r = 0,55$), C_v и Hom ($r = -0,56$), что с высокой долей достоверности позволяет использовать C_v для предварительной оценки сортов на гомеостатичность, экологическую пластичность и стабильность.

Ключевые слова: озимая мягкая пшеница, сорт, генотип, массовая доля белка, экологическая пластичность, стабильность, гомеостатичность, коэффициент вариации.

Для цитирования: Кравченко Н. С., Ионова Е. В., Подгорный С. В., Вожжова Н. Н. Характеристика коллекционных образцов озимой мягкой пшеницы по адаптивным свойствам признака «массовая доля белка в зерне» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 1(67). С. 43–48. DOI: 10.31367/2079-8725-2020-67-1-43-48



THE CHARACTERISTICS OF WINTER SOFT WHEAT COLLECTION SAMPLES ACCORDING TO THEIR ADAPTIVE PROPERTIES OF THE TRAIT “MASS FRACTION OF PROTEIN IN KERNELS”

N. S. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, senior researcher of the laboratory of biochemical assessment of breeding material and grain quality, ninakravchenko78@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3388-1548;

E. V. Ionova, Doctor of Agricultural Sciences, head of the center of fundamental researches, ORCID ID: 0000-0002-2840-6219;

S. V. Podgorny, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory of the breeding and seed production of winter soft wheat of intensive type, ORCID ID: 0000-0002-8438-1327;

N. N. Vozhzhova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory of marker breeding, ORCID ID: 0000-0002-2046-4000

Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The current paper has presented the study results of winter soft wheat samples according to the adaptive properties of the trait “mass fraction of protein in kernels”. The purpose of the research was to identify the winter soft wheat genotypes with high productivity, mass fraction of protein and adaptive properties to growing conditions. The objects of research were winter soft wheat varieties of various ecological and geographical origin. The field trials were carried out in 2016–2018 on the fields of the department for winter wheat breeding and seed production of the FSBSI “Agricultural Research Center “Donskoy”. Protein percentage in kernels was determined by a “SpektraStar 2200” infrared analyzer. On average, over the years of research, the protein percentage in the grain ranged from 12.7% (“Webster”) to 14.8% (“L 19578”). It was determined that the sample “L 19578” (14.8%) belonged to the

1st class, 22 wheat samples corresponded to the 2nd class and 8 samples corresponded to the 3rd class according to the "mass fraction of protein in kernels". It was found that the weather conditions of the year had a decisive effect on protein formation (90.7%). The factor "variety" affects the manifestation of the trait by 6.4%. The interaction between the factors is significantly 2.9%. There have been identified the genotypes responsive to the improvement of growing conditions, in which b_i is significantly more than 1, i. e. "Vinnichanka" ($b_i = 2.82$), "Slavna" ($b_i = 1.88$), "Zlatka" ($b_i = 1.87$) and others. There have been identified the genotypes with negative b_i values "Ermak" ($b_i = -0.70$), "L 19578" ($b_i = -1.41$), "No. 42 CIMMYT" ($b_i = -1.99$) and others, which indicates their high adaptability to growing conditions. There has been determined a group of varieties for which the b_i values did not significantly deviate from 1, they are "Shestopalivka" ($b_i = 0.54$), "Chornyava" ($b_i = 0.73$), "KS 96 WGRC 37" ($b_i = 1.38$), etc. This shows that a change of the trait of these varieties will exactly follow a change in environmental conditions. There has been established that the most stable varieties of environmental conditions were the varieties "Ermak" ($C_v = 1.1\%$; $Hom = 11\ 637.6$), "Shestopalivka" ($C_v = 1.4\%$; $Hom = 2580.2$), "MV 15-09" ($C_v = 1.7\%$; $Hom = 1784.9$) and others, as evidenced by the combination of the lowest values of the coefficient of variation and high homeostaticity. The calculation of the interaction showed a high correlation between C_v and S^2_i ($r = 0.91$), with b_i ($r = 0.55$) and with Hom ($r = -0.56$), which significantly allows using C_v for preliminary estimation of varieties on homeostatic, ecological adaptability and stability.

Keywords: winter soft wheat, variety, genotype, mass fraction of protein, ecological adaptability, stability, homeostaticity, coefficient of variation.

Введение. Создание сортов озимой пшеницы интенсивного типа с положительным комплексом хозяйственно-биологических признаков и свойств, а также с высоким содержанием белка в зерне – одна из основных задач селекционной науки и генетики (Скрипка, 2015). Многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных авторов установлено, что содержание белка в зерне – это наследуемый признак, который имеет полигенную природу, но, несмотря на это, содержание белка в зерне подвержено большой изменчивости в зависимости от почвенно-климатических условий, продолжительности вегетационного периода, минерального питания, предшественников и других факторов (Самофалова, 2006).

Проблема содержания белка в зерне пшеницы как селекционного признака осложнена отрицательной взаимосвязью с урожайностью зерна, что делает трудным селекцию по этим двум признакам одновременно.

Прогресс селекции предполагает достижение максимальной выраженности таких основных признаков, как урожайность, качество и адаптивность. Их совмещение в одном генотипе возможно в результате планомерной работы, важную роль в которой играют обобщение, статистическая обработка, анализ полученных данных (Белан и др., 2008).

Целью исследований являлось выявление генотипов озимой мягкой пшеницы с высокой урожайностью и массовой долей белка, обладающих адаптивными свойствами к условиям выращивания.

Материалы и методы исследований. Объектом исследований были 290 образцов озимой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения. Для расчетов параметров адаптивности образцов по признаку «массовая доля белка» были отобраны 30 сортов, которые выделились по двум и более хозяйственно ценным признакам. В качестве стандарта использовали сорт Ермак. Полевые опыты проводили в 2016–2018 гг. на полях отдела селекции и семеноводства озимой пшеницы ФГБНУ «АНЦ «Донской» по предшественнику черный пар. Почва опытного поля – чернозем обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый мощный. Для него характерна высокая карбонатность (от 2,5 до 4,0% CaCO_3 в пахотном слое мощного горизонта (до 140 см)). Содержание гумуса – 3,6–4,0%; подвижного фосфора – 20–23 мг/кг; обменного калия – 300–380 мг/кг почвы.

Климат зоны характеризуется полусухим жарким летом и умеренно мягкой зимой. Сумма положительных температур за период вегетации в среднем составляет 3450 °С, среднегодовая температура – +9,7 °С; среднегодовое количество осадков – 588,8 мм, в том числе за вегетацию озимой пшеницы – 268,2 мм.

В 2016 г. количество осадков за вегетационный период было на уровне среднеевропейских значений и составило 274,2 мм. Среднесуточная температура воздуха за период вегетации была 20,4 °С, что на 1,9 °С выше среднеевропейских значений.

Условия вегетации 2017 г. характеризовались более увлажненными условиями с количеством осадков 292,8 мм, что превысило среднеевропейские показатели на 24,6 мм. Среднесуточная температура воздуха составила 19,6 °С.

В 2018 г. погодные условия были более жесткими по увлажнению и температурному режиму. Количество осадков составило 102,4 мм, что ниже среднеевропейских значений на 165,8 мм, а среднесуточная температура воздуха была на 2,7 °С выше среднеевропейской (21,2 °С). Содержание белка определяли на инфракрасном анализаторе SpektraStar 2200 в лаборатории биохимической оценки селекционного материала и качества зерна ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Математическую и статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова (2014). Показатели экологической пластичности (b_i – коэффициент регрессии) и стабильности (S^2_i – среднее квадратическое отклонение фактических показателей массовой доли белка от теоретически ожидаемых) определяли по методикам S. A. Eberhart, W. A. Russel (1966) методической версии В. А. Зыкина (2011). Показатель гомеостатичности (Hom) вычисляли по В. В. Хангильдину (1978).

Результаты и их обсуждение. В среднем за годы исследований содержание белка в зерне в зависимости от сортовых особенностей варьировало от 12,7% (Webster) до 14,8% (Л 19578). Согласно требованиям ГОСТ 9353-2016, к I классу качества относятся сорта с содержанием белка не менее 14,5%; к II – не менее 13,5%; к III – не менее 12,0%.

Проведенными исследованиями установлено, что к I классу относился образец Л 19578 (14,8%), 22 образца соответствовали II классу качества и 8 образцов – III классу по массовой доле белка в зерне (табл. 1).

Взаимодействия и взаимосвязи генотипа и среды разнообразны и сложны по характеру и степени проявления. Генотипы могут различаться между собой специфическими фенотипическими особенностями. Для установления факта наличия взаимодействия «генотип – среда» для совокупности изучаемых сортов был проведен дисперсионный анализ.

Полученные результаты двухфакторного дисперсионного анализа свидетельствуют, что дисперсия взаимодействия «генотип – среда (год)» достоверно превышает значение дисперсии (ошибки). Это доказывает то, что генотипы по-разному реагируют на изменение климатических условий (табл. 2).

1. Массовая доля белка в зерне сортов озимой мягкой пшеницы коллекционного питомника (2016–2018 гг.)
1. Mass fraction of protein in kernels of the winter soft wheat collection varieties (2016–2018)

Сорт	Происхождение	Массовая доля белка в зерне, %				Класс качества по ГОСТ 9353-2016
		годы			среднее, $\bar{x}_i$	
		2016	2017	2018		
Ермак, ст.	Россия	13,34	13,54	13,63	13,5	II
Л 19578	Россия	14,20	15,37	14,70	14,8	I
Vinnichanka	Украина	15,10	13,46	14,03	14,2	II
Shestopalivka	Украина	13,78	13,40	13,58	13,6	II
Slavna	Украина	14,14	14,19	13,29	13,9	II
Чорнява	Украина	13,76	13,18	13,50	13,5	II
Симонида	Сербия	13,60	13,35	13,39	13,4	III
Zlatka	Сербия	13,96	14,70	13,04	13,9	II
NS 405/00	Сербия	14,49	13,42	13,36	13,8	II
№ 42 CIMMYT	США	13,61	14,09	14,45	14,0	II
KS 96 WGRC 37	США	13,92	14,40	13,25	13,9	II
Warwik	Канада	14,39	14,39	12,21	13,7	II
Webster	Канада	13,24	12,64	12,13	12,7	III
Wisdom	Канада	14,50	13,18	12,38	13,4	III
Zhong Ping 1597	Китай	14,15	13,97	14,95	14,4	II
Fuimai 5	Китай	14,52	12,24	12,99	13,3	III
Ling Xing	Китай	12,84	13,74	13,69	13,4	III
Актеп	Германия	14,37	14,55	13,72	14,2	II
Этана	Германия	14,56	14,60	13,81	14,3	II
Cubus	Германия	14,06	13,28	13,69	13,7	II
MV 15-09	Венгрия	13,87	13,42	13,54	13,6	II
GK Cipo	Венгрия	13,96	13,33	13,82	13,7	II
GK HoLLo	Венгрия	13,48	14,23	12,78	13,5	II
№ 71 CIMMIT	Румыния	13,78	14,06	13,19	13,7	II
Фиделиус	Австрия	14,48	13,05	13,17	13,6	II
Тацитус	Австрия	13,66	13,86	13,73	13,8	II
CO 911	Франция	13,69	14,18	13,42	13,8	II
Сейлор	Франция	13,01	14,09	14,71	13,9	II
Бомбус	Франция	13,93	12,23	12,68	12,9	III
Дагмар	Франция	13,07	12,65	13,42	13,0	III
EistanzueLo Benteveo	Уругвай	13,58	12,74	13,81	13,4	III
Среднее	—	14,20	15,37	14,70	14,8	—

2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа сортов озимой мягкой пшеницы по массовой доле белка в зерне

2. Results of two-way analysis of variance of the winter soft wheat varieties according to “mass fraction of protein in kernels”

Источник варьирования	Степени свободы df	Средний квадрат, MS	$F_{\text{факт}}$	$F_{\text{теор}}$
Сорт (фактор А)	30	9,143	3,79	1,59
Условия (фактор В)	2	128,925	53,48	3,10
Взаимодействие факторов АВ	60	2,424	1,70	1,46
Повторения в условиях	3	0,007	0,00	2,71
Случ. откл. (ошибки)	90	2,411	–	–

Значения $F_{\text{факт}}$ факторов «сорт» и «условия» превышают значения $F_{\text{теор}}$, что свидетельствует о достоверности полученных значений в опыте.

При изучении факторов, воздействующих на содержание белка в зерне озимой мягкой пшеницы,

было установлено их неравномерное влияние. Условия года являются определяющим фактором при формировании белка в зерне (90,7%). Фактор «сорт» влияет на проявление признака на 6,4%. Взаимодействие между факторами достоверно ($F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$), доля

его влияния составляет 2,9%, что позволяет провести расчет параметров экологической пластичности.

Ценная характеристика сортов в условиях почвенно-климатических зон с неустойчивыми погодными условиями – их отзывчивость на комплекс факторов, выражаемая коэффициентом регрессии (b_i). Расчет b_i позволяет отобрать генотипы по общей их реакции на лимитированные факторы среды. Генотипы, отзывчивые на улучшение условий, в сравнении с менее отзывчивыми, будут формировать более высокое качество зерна в хороших условиях, а в плохих могут оказаться и низкачественными.

При оценке пластичности по коэффициенту регрессии (b_i), учитывается, что если полученные значения b_i достоверно выше 1, то это свидетельствует об отзывчивости сортов на улучшение условий выращивания. Такие сорта следует относить к интенсивному типу, однако в неблагоприятные по погодным условиям годы они могут резко снижать содержание белка. Согласно проведенным исследованиям выделены генотипы со значениями $b_i > 1$: Vinnichanka ($b_i = 2,82$), Slavna ($b_i = 1,88$), Zlatka ($b_i = 1,87$), NS 405/00 ($b_i = 2,81$), Warwik ($b_i = 4,87$), Webster ($b_i = 2,63$), Wisdom ($b_i = 5,09$), Fuimai 5 ($b_i = 4,00$), Фиделиус ($b_i = 3,30$) и Бомбус ($b_i = 3,23$) (табл. 3).

3. Адаптивные свойства сортов озимой пшеницы по массовой доле белка (2016–2018 гг.) 3. Adaptive properties of the winter soft wheat varieties according to "mass fraction of protein in kernels" (2016–2018)

Сорт	Среднее, $\bar{x}_i$	Параметры адаптивности			
		C_v , %	Hom	b_i	S^2_i
Ермак, ст.	13,5	1,1	11637,6	-0,70	0,17
Л 19578	14,8	4,0	274,3	-1,41	1,21
Vinnichanka	14,2	5,9	137,4	2,82	3,49
Shestopalivka	13,6	1,4	2580,2	0,54	0,15
Slavna	13,9	3,6	418,9	1,88	1,45
Чорнява	13,5	2,2	1095,8	0,73	0,31
Симонида	13,4	1,0	5439,9	0,53	0,11
Zlatka	13,9	6,0	137,4	1,87	2,29
NS 405/00	13,8	4,6	259,9	2,81	2,91
№ 42 CIMMYT	14,0	3,0	534,8	-1,99	1,41
KS 96 WGRC 37	13,9	4,2	282,2	1,38	1,17
Warwik	13,7	9,2	68,6	4,87	9,47
Webster	12,7	4,4	306,4	2,63	2,45
Wisdom	13,4	8,0	82,4	5,09	9,19
Zhong Ping 1597	14,4	3,6	369,9	-1,74	1,34
Fuimai 5	13,3	8,8	70,8	4,00	6,95
Ling Xing	13,4	3,8	412,8	-2,13	1,71
Актер	14,2	3,1	522,1	1,40	0,90
Этана	14,3	3,1	537,3	1,66	1,13
Cubus	13,7	2,9	616,8	1,03	0,59
MV 15-09	13,6	1,7	1784,9	0,86	0,31
GK Cipo	13,7	2,4	899,9	0,47	0,28
GK HoLLO	13,5	5,4	177,7	1,39	1,57
№ 71 CIMMIT	13,7	3,3	482,9	1,26	0,82
Фиделиус	13,6	5,8	165,4	3,30	4,14
Тацитус	13,8	0,7	9265,4	-0,21	0,03
CO 911	13,8	2,8	640,4	0,48	0,36
Сейлор	13,9	6,2	129,0	-4,07	5,87
Бомбус	12,9	6,8	125,3	3,23	4,33
EistanzueLo Benteveo	13,0	3,0	632,8	-0,68	0,42
Дагмар	13,4	4,2	310,2	-0,31	0,66

Примечание: C_v – коэффициент вариации; Hom – гомеостатичность; b_i – коэффициент регрессии; S^2_i – дисперсия стабильности.

Если b_i меньше 1, то это свидетельствует о том, что сорта показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях среды. В этом случае изменения условий выращивания не вызывают адекватного изменения признака у изучаемого сорта. В результате проведенных расчетов выявлены генотипы, у которых b_i ниже 1. Это сорта с отрицательными значениями коэффициента регрессии: Ермак ($b_i = -0,70$), Л 19578 ($b_i = -1,41$), № 42 CIMMYT ($b_i = -1,99$), Zhong Ping 1597 ($b_i = -1,74$), Ling Xing ($b_i = -2,13$), Тацитус ($b_i = -0,21$), Сейлор ($b_i = -4,07$), Eistanzuelo Benteveo ($b_i = -0,68$) и Дагмар ($b_i = -0,31$). Генотипы с отрицательной регрессией на условия среды являются пластичными, так как высоко адаптированы в лимитированной среде и слабо адаптированы в безлимитных средах (Белякин, 2005).

Если значения b_i не имеют достоверного отклонения от 1, то изменение признака у этих сортов будет в точности следовать за изменением условий среды. К этой группе относили сорта Shestopalivka ($b_i = 0,54$), Чорнява ($b_i = 0,73$), Симонида ($b_i = 0,53$), KS 96 WGRC 37 ($b_i = 1,38$), Актер ($b_i = 1,40$), Этана ($b_i = 1,66$), Cubus ($b_i = 1,03$), MV 15-09 ($b_i = 0,86$), GK Cipo ($b_i = 0,47$), GK HoLLo ($b_i = 1,49$), № 71 CIMMIT ($b_i = 1,26$) и CO 911 ($b_i = 0,48$).

Показатель S^2_i – дисперсия отклонения от линии регрессии – свидетельствует, что чем меньше значения, тем более стабилен признак во времени и в пространстве. В результате проведенных исследований выделены сорта, стабильные по признаку «массовая доля белка в зерне»: Ермак ($S^2_i = 0,17$), Shestopalivka ($S^2_i = 0,15$), Чорнява ($S^2_i = 0,31$), Симонида ($S^2_i = 0,11$), MV 15-09 ($S^2_i = 0,31$), GK Cipo ($S^2_i = 0,28$), Тацитус ($S^2_i = 0,03$) и CO 911 ($S^2_i = 0,36$).

Одним из важных показателей, характеризующих устойчивость растений к воздействию неблагоприятных факторов среды, является гомеостатичность,

которая является критерием способности генотипов поддерживать низкую вариабельность признаков. Таким образом, гомеостатичность (Hom) и коэффициент вариации (C_v) характеризуют устойчивость признака в изменяющихся условиях среды.

В наших исследованиях наиболее стабильными на изменения условий среды являлись сорта Ермак ($C_v = 1,1\%$; Hom = 11 637,6), Shestopalivka ($C_v = 1,4\%$; Hom = 2580,2), Симонида ($C_v = 1,0\%$; Hom = 5439,9), MV 15-09 ($C_v = 1,7\%$; Hom = 1784,9) и Тацитус ($C_v = 0,7\%$; Hom = 9265,4), о чем свидетельствует сочетание наименьших значений коэффициента вариации и высокой гомеостатичности.

В настоящее время многими учеными используются различные показатели и методы расчетов параметров, характеризующих адаптивные свойства генотипов. Различные способы оценки экологической пластичности и стабильности позволяют всесторонне оценить адаптивные свойства, но в то же время затрудняют восприятие получаемой информации из-за неоднозначности истолкования. Поэтому большой практический интерес представляет не только расчет абсолютных значений параметров адаптивных свойств, но и взаимосвязь между ними. Это позволит ученым вести селекцию целенаправленно на получение необходимых признаков и свойств.

В связи с этим был проведен корреляционный анализ, который позволил выявить взаимосвязи между используемыми параметрами адаптивности по массовой доле белка.

Анализ полученных результатов показал, что между гомеостатичностью (Hom) и коэффициентом вариации установлена значимая отрицательная средняя взаимосвязь ($r = -0,56$). Это является доказательством того, что гомеостатичность связывают с меньшей вариабельностью признака при различных условиях произрастания (табл. 4).

4. Взаимосвязь некоторых параметров адаптивности озимой пшеницы по признаку «массовая доля белка»

4. Interaction of some parameters of winter wheat adaptability according to the trait "mass fraction of protein in kernels"

Показатель	Среднее, x_i	C_v , %	Hom	b_i	S^2_i
Среднее, x_i	1,00	–	–	–	–
C_v , %	–0,12	1,00	–	–	–
Hom	–0,08	–0,56*	1,00	–	–
b_i	–0,28	0,55*	–0,23	1,00	–
S^2_i	–0,15	0,91*	–0,35	0,54*	1,00

*значимо на 5% уровне.

Между коэффициентом вариации C_v и параметром b_i определена значимая положительная средняя взаимосвязь ($r = 0,55$), свидетельствующая о том, что низким значениям коэффициента вариации соответствует более низкий уровень экологической пластичности, а высоким значениям коэффициента вариации – более высокая пластичность.

Между коэффициентом вариации C_v и стабильностью S^2_i выявлена значимая положительная сильная взаимосвязь ($r = 0,91$). Подобная зависимость свидетельствует о том, что чем выше коэффициент вариации признака, тем выше значения S^2_i , а так как этот параметр должен стремиться к нулю, то, следовательно, ниже стабильность признака.

При сопоставлении значений экологической пластичности b_i и стабильности S^2_i установлена значимая положительная средняя взаимосвязь ($r = 0,54$), свидетельствующая о том, что чем пластичнее сорт, тем выше значения S^2_i , то есть ниже стабильность.

Таким образом, анализ полученных взаимосвязей между рассмотренными параметрами адаптивности несет полезную информацию о реакции генотипов на условия среды, представляет практический интерес и может быть использован при изучении адаптивных свойств сортов озимой пшеницы в различных условиях среды. Выделенные генотипы могут быть использованы в селекционном процессе в качестве генетических источников полезных признаков и свойств.

Выводы

1. Выяснено, что на формирование белка условия года оказывают определяющее влияние (90,7%). Фактор «сорт» влияет на проявление признака на 6,4%. Взаимодействие между факторами достоверно и составляет 2,9%.

2. Установлены генотипы, отзывчивые на улучшение условий выращивания, у которых b_i достоверно выше 1 и содержание белка на уровне II класса: Vinnichanka ($b_i = 2,82$), Slavna ($b_i = 1,88$), Zlatka ($b_i =$

1,87), NS 405/00 ($b_i = 2,81$), Warwik ($b_i = 4,87$) и Фиде-лиус ($b_i = 3,30$).

3. Выявлены генотипы, у которых отрицательные значения b_i и содержание белка соответствуют требованиям ГОСТ к I–II классу: Ермак ($b_i = -0,70$), Л 19578 ($b_i = -1,41$), № 42 CIMMYT ($b_i = -1,99$), Zhong Ping 1597 ($b_i = -1,74$), Тацитус ($b_i = -0,21$) и Сейлор ($b_i = -4,07$). Это свидетельствует об их высокой пластичности к условиям выращивания.

4. Определена группа сортов с высокой массовой долей белка, у которых значения b_i достоверно не отклоняются от 1: Shestopalivka ($b_i = 0,54$), Чорнява ($b_i = 0,73$), KS 96 WGRC 37 ($b_i = 1,38$), Актер ($b_i = 1,40$), Этана ($b_i = 1,66$), Cubus ($b_i = 1,03$), MV 15-09 ($b_i = 0,86$), GK Cipo ($b_i = 0,47$), GK HoLo ($b_i = 1,49$), № 71 CIMMIT ($b_i = 1,26$) и CO 911 ($b_i = 0,48$). Это свидетельствует о том, что изменение признака у этих сортов будет в точности следовать за изменением условий среды.

5. Выделены сорта, стабильные по признаку «массовая доля белка в зерне»: Ермак ($S^2_i = 0,17$),

Shestopalivka ($S^2_i = 0,15$), Чорнява ($S^2_i = 0,31$), MV 15-09 ($S^2_i = 0,31$), GK Cipo ($S^2_i = 0,28$), Тацитус ($S^2_i = 0,03$), CO 911 ($S^2_i = 0,36$).

6. Установлено, что наиболее стабильными на изменения условий среды являлись сорта Ермак ($C_v = 1,1\%$; $Hom = 11\,637,6$), Shestopalivka ($C_v = 1,4\%$; $Hom = 2580,2$), MV 15-09 ($C_v = 1,7\%$; $Hom = 1784,9$) и Тацитус ($C_v = 0,7\%$; $Hom = 9265,4$), о чем свидетельствует сочетание наименьших значений коэффициента вариации и высокой гомеостатичности.

7. Расчет взаимосвязей показал высокую корреляционную связь C_v и S^2_i ($r = 0,91$), C_v и b_i ($r = 0,55$), C_v и Hom ($r = -0,56$), что с высокой долей достоверности позволяет использовать C_v для предварительной оценки сортов на гомеостатичность, экологическую пластичность и стабильность.

8. Выделенные генотипы могут быть использованы в селекционном процессе в качестве генетических источников полезных признаков и свойств.

Библиографические ссылки

1. Белан И. А., Россеева Л. П., Зыкин В. А. История селекции яровой мягкой пшеницы в СИБНИИСХ: урожайность, адаптивность // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 12. С. 8–10.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5 изд., перераб. и доп. Стереотип. изд. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С. и др. Экологическая пластичность сельскохозяйственных растений. Уфа, 2011. 97 с.
4. Самофалова Н. Е., Ковтун В. И. Селекция озимой пшеницы на юге России. Ростов н/Д., 2006. 480 с.
5. Скрипка О. В., Самофалов А. П., Подгорный С. В. Новый сорт сильной озимой мягкой пшеницы Находка // Зерновое хозяйство России. 2015. № 4(40). С. 17–20.
6. Хангильдин В. В. О принципах моделирования сортов интенсивного типа // Генетика количественных признаков сельскохозяйственных растений. М.: Наука, 1978. С. 111–115.
7. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Jorj Sci. 1966. Vol. 6, no. 1. Pp. 36–40.

References

1. Belan I. A., Rosseeva L. P., Zykin V. A. Istoriya selekcii yarovoj myagkoj pshenicy v SIBNIISKH: urozhajnost', adaptivnost' [The history of spring soft wheat breeding in SibRIA: productivity, adaptability] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2008. № 12. S. 8–10.
2. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of research results)]. 5 izd., pererab. i dop. Stereotip. izd. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Zykin V. A., Belan I. A., Yusov V. S. i dr. Ekologicheskaya plastichnost' sel'skohozyajstvennyh rastenij [Ecological adaptability of agricultural plants]. Ufa, 2011. 97 s.
4. Samofalova N. E., Kovtun V. I. Selekcija ozimoi pshenicy na yuge Rossii [Selection of winter wheat in the south of Russia]. Rostov n/D., 2006. 480 s.
5. Skripka O. V., Samofalov A. P., Podgornij S. V. Novyj sort sil'noj ozimoi myagkoj pshenicy Nahodka [The new variety of strong winter soft wheat "Nakhodka"] // Zernovoe hozyajstvo Rossii. 2015. № 4(40). S. 17–20.
6. Hangil'din V. V. O principah modelirovaniya sortov intensivnogo tipa // Genetika kolichestvennyh priznakov sel'skohozyajstvennyh rastenij [On the principles of modeling varieties of intensive type]. M.: Nauka, 1978. S. 111–115.
7. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Jorj Sci. 1966. Vol. 6, no. 1. Pp. 36–40.

Поступила: 13.01.20; принята к публикации: 25.02.20.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кравченко Н. С. – подготовка рукописи, выполнение лабораторных опытов; Ионова Е. В. – концептуализация исследования; Подгорный С. В. – выполнение полевых опытов и сбор данных; Вождова Н. Н. – анализ данных и их интерпретация.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.