

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ ТАТАРСТАНА

В. И. Блохин, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, bvikazan@bk.ru ORCID ID: 0000-0002-5604-0154;
И. Ю. Никифорова, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, irina220169@mail.ru, ORCID ID: 0000-003-4313-240;
И. С. Ганиева, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, irinaganieva1984@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9925-0178;
М. А. Ланочкина, научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, Imar2701@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5609-5529;
Ю. В. Малафеева, научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, malxp@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7461-381X;
Д. С. Дюрбин, младший научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, 19dyurbik83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7298-0699
Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», 420059, Республика Татарстан, г. Казань, Оренбургский тракт, д. 48; e-mail: tatniva@mail.ru

Цель работы – анализ физико-механических свойств зерна сортов ярового ячменя, возделываемых в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан. Исследования проводили в ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в 2015–2022 гг. В условиях Предкамской зоны, в среднем за годы исследований позднеспелый сорт Эндан характеризовался достоверно высокими значениями массы 1000 зерен (48,5 г), раннеспелый сорт Камашевский – достоверно высокими значениями натурной массы зерна (686,3 г/л), схода с сита 2,8 х 20 мм (33,9 %) и крупности (70,02 %), среднеспелый сорт Раушан – более высокой вариабельностью по массе 1000 зерен (18,6 %), сходу с сит 2,8 и 2,5 х 20 мм (55,6 и 29,7 % соответственно) крупности (39,5 %). Установлена достоверная на 1 % уровне значимости прямая зависимость массы 1000 зерен, схода с сита 2,8 х 20 мм и крупности от суммы осадков ($r = 0,41/0,58/0,56$ соответственно), ГТК ($r = 0,40/0,58/0,55$ соответственно) и обратная зависимость данных физико-механических свойств от средней суточной температуры воздуха ($r = -0,51/-0,62/-0,63$ соответственно) межфазного периода «колошение-полная спелость». Судя по величине коэффициента детерминации (r^2) наиболее тесно признаки «масса 1000 зерен», «сход с сита 2,8 х 20 мм» и «крупность» связаны со средней суточной температурой воздуха. Анализом путевых коэффициентов выявлены высокий прямой положительный вклад (0,87) схода с сита 2,8 х 20 мм и средний прямой положительный вклад (0,43) схода с сита 2,5 х 20 мм в урожайность зерна. В условиях Предкамской зоны преобладающий вклад в общую дисперсию признаков «сход с сита 2,8 х 20 мм», «крупность», «масса 1000 зерен», «натурная масса зерна», «сход с сита 2,5 х 20 мм» вносил фактор «год», на долю которого приходилось (в порядке убывания) 81,7...80,3...76,6...76,2...68,7 % соответственно.

Ключевые слова: яровой ячмень, физико-механические свойства зерна, урожайность, гидротермические показатели, путевые коэффициенты, дисперсия.

Для цитирования: Блохин В. И., Никифорова И. Ю., Ганиева И. С., Ланочкина М. А., Малафеева Ю. В., Дюрбин Д. С. Физико-механические свойства зерна сортов ярового ячменя в условиях Татарстана // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 19–25. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-19-25.



PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GRAIN OF SPRING BARLEY VARIETIES IN THE CONDITIONS OF TATARSTAN

V. I. Blokhin, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for spring barley breeding, bvikazan@bk.ru ORCID ID: 0000-0002-5604-0154;
I. Yu. Nikiforova, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for spring barley breeding, irina220169@mail.ru, ORCID ID: 0000-003-4313-240;
I. S. Ganieva, Candidate of Agricultural Sciences, старший научный сотрудник лаборатории селекции ярового ячменя, irinaganieva1984@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-9925-0178;
M. A. Lanochkina, researcher of the laboratory for spring barley breeding, Imar2701@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-5609-5529;
Yu. V. Malafeeva, researcher of the laboratory for spring barley breeding, malxp@mail.ru, ORCID ID: 0000-0001-7461-381X;
D. S. Dyurbina, junior researcher of the laboratory for spring barley breeding, 19dyurbik83@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7298-0699
Tatarsky Research Institute of Agriculture FRC of Kazan Research Center RAS 420059, Republic of Tatarstan, Kazan, Orenburgsky trakt, 48; e-mail: tatniva@mail.ru

The aim of the work is to analyze the physical and mechanical properties of grain of spring barley varieties cultivated in the conditions of the Predkamsk zone of the Republic of Tatarstan. The research was conducted in Tatarsky Research Institute of Agriculture FRC of Kazan Research Center RAS in 2015–2022. In the conditions of

the Predkamsk zone, on average over the years of research, the late maturing variety Endan was characterized by reliably high values of 1000 grain weight (48.5 g), the early maturing variety Kamashevsky – reliably high values of natural grain weight (686, 3 g/l), convergence from 2.8 x 20 mm sieve (33.9 %) and coarseness (70.02 %), medium maturing variety Raushan – higher variability in 1000 grain weight (18.6 %), convergence from 2.8 and 2.5 x 20 mm sieves (55.6 and 29.7 %, respectively) and coarseness (39.5 %). The direct dependence of the mass of 1000 grains, runoff from the sieve 2.8 x 20 mm and coarseness on the sum of precipitation ($r = 0.41/0.58/0.56$, respectively), GTC ($r = 0.40/0.58/0.55$, respectively) and inverse dependence of these physical and mechanical properties on the average daily air temperature ($r = -0.51/-0.62/-0.63$, respectively) of the interphase period "earring-full ripeness" were established at 1% significance level. Judging by the value of the coefficient of determination (r^2), the most closely related to the average daily air temperature are the signs "mass of 1000 grains", "drift from the sieve 2.8 x 20 mm" and "coarseness". The analysis of path coefficients revealed a high direct positive contribution (0.87) of 2.8 x 20 mm sieve runoff and an average direct positive contribution (0.43) of 2.5 x 20 mm sieve runoff to grain yield. Under the conditions of the Predkamsk zone, the prevailing contribution to the total variance of the traits "drift from the sieve 2.8 x 20 mm", "coarseness", "weight of 1000 grains", "bulk grain weight", "drift from the sieve 2.5 x 20 mm" was made by the factor "year", which accounted for (in descending order) 81.7...80.3...76.6...76.2...68.7 %, respectively.

Keywords: spring barley, physical and mechanical properties of grain, yield, productivity, hydrothermal indicators, path coefficients, dispersion.

Введение. Анализ литературных источников свидетельствует о влиянии физико-механических свойств зерна ярового ячменя на технологические, биологические показатели и урожайность. Ерошенко с соавт. (2019) установили, что крупнозерные сорта характеризовались высоким выходом ячневой крупы. В условиях Среднего Поволжья за период 2019–2021 гг. выявлена достоверная, на 1 % и 5 % уровнях значимости, отрицательная связь между натурой и пленчатостью зерна ($r = -0.94...-0.64...-0.84$) (Шеболкина и др., 2023).

В Алтайском НИИСХ по 3-летним данным Мусалитиным и Борадуллиной (2015) установлена положительная корреляция урожайности зерна и числа зародышевых корешков с крупностью семян. В зоне Северного Зауралья в условиях достаточного обеспечения влагой периода формирования и налива зерна ярового ячменя Фоминой (2019) выявлена достоверная, на 5 % уровне значимости, связь урожайности зерна с показателем «масса 1000 зерен» ($r = 0.83-0.95$).

Наиболее тесно физико-механические свойства зерна ярового ячменя связаны с гидротермическими условиями межфазного периода «колошение – полная спелость» (Морозов и др., 2022; Пасынков и Пасынкова, 2020; Li et al., 2020; Shirdelmoghanloo et al., 2022).

Анализ литературных источников свидетельствует о преобладающем вкладе фактора «год» (82,2 %) в изменчивость признака «масса 1000 зерен» (Юсова и др., 2020). Киян и Жаркова (2019) приводят данные о высоком вкладе фактора «год» (54,9 %) в изменчивость признака «натура зерна».

Цель работы – анализ физико-механических свойств зерна сортов ярового ячменя, возделываемых в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан. Задачи исследования: 1 – охарактеризовать сорта ярового ячменя по физико-механическим свойствам зерна; 2 – установить зависимость физико-механических свойств от гидротермических показателей межфазного периода «колошение – полная спелость»; 3 – выявить зависимость урожайности зерна от физико-механических свойств;

4 – выявить преобладающее влияние факторов дисперсии («сорт», «год» и взаимодействие «сорт x год») на изменчивость физико-механических свойств зерна.

Материалы и методы исследований.

Исследования проводили в 2015–2022 гг. на опытных полях Татарского НИИСХ – обособленное структурное подразделение Федерального исследовательского центра «Казанский научный центр Российской академии наук», расположенных в Предкамской зоне Республики Татарстан. Материалом для исследования послужили 7 двурядных пленчатых сортов ярового ячменя, внесенные в Государственный реестр селекционных достижений РФ по Средневолжскому региону в различные годы. Из них 2 раннеспелых сорта (Орлан, Камашевский); 3 среднеспелых сорта (Раушан, Нур, Белгородский 100); 2 позднеспелых сорта (Тимерхан, Эндан). Посев сплошной, рядовой. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян на га. Посев проводили семенами (сход зерна с сит с продолговатыми отверстиями размерами 2,8 x 20 мм, 2,5 x 20 мм). Учетная площадь делянок 10 м². Повторность 4-кратная. Предшественник – озимая рожь. Почва опытных участков серая лесная среднесуглинистая. В период вегетации отмечали календарные даты фенологических фаз развития растений ярового ячменя: «колошение» и «полная спелость». Метеорологические данные предоставлены метеостанцией ТатНИИСХ, расположенной в с. Большие Кабаны Лаишевского муниципального района. Для характеристики межфазного периода «колошение – полная спелость» использовали следующие показатели: средняя суточная температура воздуха, сумма осадков. Индексы гидротермического коэффициента (ГТК) рассчитывали по формуле: $(\Sigma r : \Sigma t) \times 10$, где Σr – сумма осадков за период, Σt – сумма температур выше 10 °C за тот же период (Селянинов, 1937). Для классификации типов увлажнения межфазного периода использовали разработанную шкалу для условий Республики Татарстан (Шайтанов и Тагиров, 2018). Годы исследований характеризовались контрастностью гидротермических условий межфазного периода

«колошение – полная спелость», что позволило всесторонне оценить физико-механические свойства зерна сортов ярового ячменя. Межфазный период «колошение – полная спелость» в 2015 г. характеризовался как влажный (ГТК = 1,50); 2016 г. – сухой (ГТК = 0,21); в 2017 г. – засушливый (ГТК = 0,88); в 2018 г. – сухой (ГТК = 0,45); в 2019 г. – избыточно влажный (ГТК = 2,27); в 2020 г. – сильно засушливый (ГТК = 0,57); в 2021 г. – сухой (ГТК = 0,28); в 2022 г. – сильно засушливый (ГТК = 0,68). Массу 1000 зерен определяли ГОСТ 10842-89, натуральную массу зерна – ГОСТ 10840-2017. Крупность зерна ячменя (для пивоварения) определяли ГОСТ 30483-97 (сход зерна, оставшегося на сите с продолговатыми отверстиями 2,5 x 20 мм). Для более полной характеристики зерна по крупности использовали дополнительное сито с продолговатыми отверстиями 2,8 x 20 мм. Сход зерна с сита 2,8 x 20 мм, сход

зерна с сита 2,5 x 20 мм и крупность, выраженные в %, преобразовывали в «угол-арксинус $\sqrt{\text{процент}}$ ». Анализ путевых коэффициентов, позволяющий вычленивать прямые и косвенные вклады физико-механических свойств зерна в формирование урожайности, осуществляли в изложении пр Седловскому с соавторами (1982). Статистическая обработка результатов исследований выполнена с использованием пакета программ статистического и биометрико-генетического анализа в растениеводстве и селекции AGROS (версия 2.08, РАСХН, 1999).

Результаты и их обсуждение. В среднем за годы исследований достоверно высокую массу 1000 зерен сформировал позднеспелый сорт Эндан (48,5 г), достоверно низкую – среднеспелый сорт Раушан (39,7 г), данный сорт характеризовался и наиболее высокой вариабельностью по данному свойству (18,6 %) (табл. 1).

Таблица 1. Физико-механические свойства зерна сортов ярового ячменя (2015–2022 гг.)
Table 1. Physical and mechanical properties of grain of spring barley varieties (2015–2022)

Сорт	Год									V, %	HCP _{0,05}	F _{факт.}
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2015–2022			
Масса 1000 зерен, г												
Камашевский	42,2	47,8	44,9	47,1	53,9	37,7	33,3	52,0	44,9	15,5	2,87	4,95
Орлан	42,59	45,9	44,2	43,5	54,5	37,1	35,9	53,1	44,6	14,8		
Раушан	41,8	38,5	37,9	44,0	49,2	29,5	29,1	47,3	39,7	18,6		
Нур	40,2	47,8	44,9	46,3	52,7	43,2	28,9	51,2	44,4	16,8		
Белгородский 100	39,4	45,4	42,3	40,5	50,7	46,8	31,9	49,3	43,3	14,0		
Тимерхан	42,6	48,4	38,6	39,9	51,6	43,3	32,1	52,5	43,6	15,9		
Эндан	48,4	50,4	47,8	50,9	57,3	42,6	34,8	55,7	48,5	14,8		
Натурная масса зерна, г/л												
Камашевский	668,4	708,0	664,4	708,7	695,4	674,3	657,8	713,9	686,3	3,3	6,01	7,49
Орлан	663,8	682,5	670,6	690,6	703,9	679,5	662,7	716,6	683,8	2,8		
Раушан	665,6	668,4	668,3	704,7	691,1	655,5	638,8	691,3	672,9	3,2		
Нур	655,2	702,5	670,9	690,1	678,4	651,0	610,7	702,4	670,4	4,6		
Белгородский 100	646,9	675,9	663,8	689,7	690,5	679,7	635,6	712,2	674,2	3,7		
Тимерхан	657,5	675,8	687,2	692,3	684,9	655,2	632,2	690,0	673,9	3,0		
Эндан	669,2	677,3	660,1	699,4	680,7	669,4	633,3	716,2	675,7	3,7		
Сход зерна с сита 2,8 x 20 мм, %												
Камашевский	23,61	41,16	30,94	34,91	63,67	10,35	3,15	63,42	33,90	43,8	2,63	17,54
Орлан	26,68	30,47	25,45	22,36	73,78	11,47	3,49	53,11	30,90	46,3		
Раушан	20,62	11,74	15,85	24,91	54,58	2,86	1,09	43,49	21,90	55,6		
Нур	18,41	5,46	13,78	17,22	55,76	17,11	0,46	43,13	21,42	55,5		
Белгородский 100	14,83	29,22	26,16	14,65	76,95	37,18	5,87	28,49	29,17	44,4		
Тимерхан	15,04	26,88	25,49	8,95	66,06	15,94	5,59	51,75	26,96	46,8		
Эндан	34,34	24,16	30,41	25,43	62,89	8,00	3,82	57,65	30,84	44,1		
Сход зерна с сита 2,5 x 20 мм, %												
Камашевский	46,43	39,16	46,40	49,84	30,50	28,14	21,38	26,90	36,12	17,7	1,56	3,07
Орлан	45,36	35,75	45,35	55,90	20,15	36,20	27,51	34,78	37,62	17,9		
Раушан	51,24	36,73	45,87	50,22	38,37	11,91	10,29	35,85	35,06	29,7		
Нур	39,63	39,36	51,99	57,60	35,61	45,74	4,18	38,71	39,10	30,1		
Белгородский 100	40,10	42,51	46,58	44,81	18,73	44,98	24,06	50,47	39,03	18,3		
Тимерхан	48,24	43,12	52,62	45,01	27,62	36,13	18,28	33,41	38,05	18,5		
Эндан	47,22	38,54	41,98	52,82	29,22	31,58	19,56	27,97	36,11	18,2		
Крупность зерна, %												
Камашевский	68,97	80,32	77,34	84,75	94,17	38,49	24,53	90,32	70,02	27,9	2,32	16,25
Орлан	72,04	66,22	70,81	78,26	93,93	47,67	31,00	87,89	68,52	23,7		
Раушан	71,86	48,46	61,72	75,14	92,90	14,77	11,39	79,34	56,95	39,5		
Нур	58,04	44,82	65,78	74,82	91,37	62,84	4,64	81,84	60,52	35,8		
Белгородский 100	54,93	71,73	72,74	59,46	95,68	82,16	29,93	78,96	68,20	23,6		
Тимерхан	63,28	70,00	78,12	53,96	93,68	52,07	23,87	85,16	65,01	26,2		
Эндан	81,57	62,70	72,40	78,25	92,11	39,58	23,38	85,62	66,95	27,1		

Примечание. V, % – вариабельность; здесь и далее F_{факт.} и F_{ст} – фактический и статистический критерий Фишера для 5% уровня значимости.

Сорта ярового ячменя в любой год испытания характеризовались высокой натурной массой зерна (выше 630 г/л), что соответствовало требованию ГОСТ 28672-2019. «Ячмень. Технические условия» для заготовляемого ячменя 1 класса. Исключение составил среднеспелый сорт Нур в 2021 г. (610 г/л). В среднем за годы исследований достоверно высокую натурную массу зерна сформировали раннеспелые сорта Камашевский и Орлан (686,3 и 683,8 г/л соответственно).

В среднем за годы исследований достоверно высоким сходом зерна с сита 2,8 x 20 мм характеризовался раннеспелый сорт Камашевский (33,90 %), достоверно низким – среднеспелые сорта Раушан и Нур (21,90 и 21,42 % соответственно). Эти сорта обладали и наиболее высокой вариабельностью по данному свойству (55,6 и 55,5 % соответственно). В среднем за 2015–2022 гг. среднеспелые сорта Раушан и Нур характеризовались высокой вариабельностью схода зерна с сита 2,5 x 20 мм (29,7 и 30,1 % соответственно).

В 2019 г. сорта ярового ячменя сформировали крупность зерна более 85 %, что соответствовало требованию ГОСТ 5060-2021. «Ячмень пивоваренный. Технические условия» для ячменя 1 класса, предназначенного для солодоращения. Высокой крупностью зерна характе-

ризовались раннеспелые сорта Камашевский, Орлан и среднеспелый сорт Белгородский 100 (70,02/68,52 и 68,2 % соответственно), достоверно низкой – среднеспелые сорта Раушан и Нур (56,95 и 60,52 % соответственно). Эти сорта характеризовались и наиболее высокой вариабельностью по данному свойству (39,5 и 35,8 % соответственно).

Корреляционным анализом экспериментальных данных нами установлена достоверная, на 1% уровне значимости, прямая зависимость массы 1000 зерен, схода зерна с сита 2,8 x 20 мм и крупности от суммы осадков ($r = 0,41/0,58/0,56$ соответственно), ГТК ($r = 0,40/0,58/0,55$ соответственно) и обратная зависимость данных физико-механических свойств от средней суточной температуры воздуха ($r = -0,51/-0,62/-0,63$ соответственно) межфазного периода «колошение – полная спелость». Судя по величине коэффициента детерминации (r^2), наиболее тесно «масса 1000 зерен», «сход зерна с сита 2,8 x 20 мм» и «крупность» связаны со средней суточной температурой воздуха. Так, 26,0 % колебаний массы 1000 зерен, 38,4 % колебаний схода зерна с сита 2,8 x 20 мм и 39,7 % колебаний крупности зерна вызываются колебаниями данного гидротермического показателя (табл. 2).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции и детерминации физико-механических свойств зерна и гидротермических показателей межфазного периода «колошение – полная спелость»
Table 2. Correlation and determination coefficients of physical and mechanical properties of grain and hydrothermal indicators of the interphase period 'heading phase-full maturity'

Гидротермические показатели	Масса 1000 зерен, г		Натурная масса зерна, г/л	Сход с сита 2,8 x 20 мм, %		Сход с сита 2,5 x 20 мм, %		Крупность, %	
	r	r ²		r	r ²	r	r ²	r	r ²
Средняя суточная температура, °C	-0,51**	0,260	-0,22	-0,62**	0,384	-0,20		-0,63**	0,397
Сумма осадков, мм	0,41**	0,168	0,05	0,58**	0,336	0,08		0,56**	0,314
ГТК	0,40**	0,160	0,04	0,58**	0,336	0,05		0,55**	0,303

Примечание. Здесь и далее r – коэффициент корреляции; r² – коэффициент детерминации; символ «*» – коэффициент корреляции существен при уровне значимости 5%; символ «**» – коэффициент корреляции существен при уровне значимости 1 %.

В 2019/2021 гг. достоверно высокие/низкие средние сортовые значения физико-механических свойств зерна обусловлены благоприятными/неблагоприятными гидротермическими показателями межфазного периода «колошение – полная спелость». В 2019 г. средняя суточная температура воздуха составила по группам спелости 16,9–18,3 °C; сумма осадков 113,4–192,2 мм; ГТК 0,23–0,44. В 2021 г. аналогичные показатели составили 23,9–24,2 °C; 18,5–34,0 мм и 0,23–0,44 соответственно. 2019 г. характеризовался не только достоверно высокими средними сортовыми показателями массы 1000 зерен (52,8 г), схода зерна с сита 2,8 x 20 мм (64,81 %) и крупности (93,41 %), но и достовер-

но высокой средней сортовой урожайностью зерна 4,28 т/га (табл. 3).

Корреляционным анализом экспериментальных данных за 2015–2022 гг. установлена достоверная, на 1% и 5% уровнях значимости, прямая зависимость урожайности зерна от массы 1000 зерен ($r = 0,55$); натурной массы зерна ($r = 0,32$); схода зерна с сита 2,8 x 20 мм ($r = 0,59$); схода зерна с сита 2,5 x 20 мм ($r = 0,37$) и крупности ($r = 0,64$). Для детального изучения влияния физико-механических свойств на урожайность зерна мы применили метод путей коэффициентов, позволяющий вычленировать прямой вклад одного признака и косвенные вклады других (табл. 4).

Таблица 3. Средне сортовые значения урожайности и физико-механических свойств зерна (2015–2022 гг.)
Table 3. Mean varietal values of productivity and physical and mechanical properties of grain (2015–2022)

Признак	Годы									НСР _{0,05}	F _{факт.}
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2015–2022		
Урожайность зерна, т/га	2,94	3,10	4,51	2,71	4,28	3,41	1,19	2,74	3,11	0,41	50,32
Масса 1000 зерен, г	42,4	46,3	42,9	39,5	52,8	40,5	32,3	51,6	44,1	7,12	7,18
Натурная масса зерна, г/л	660,9	684,4	669,3	696,5	689,3	668,8	641,9	706,1	676,4	12,53	24,36
Сход зерна с сита 2,8 x 20 мм, %	21,93	24,16	24,01	21,20	64,81	14,70	3,35	48,72	27,65	6,80	31,31
Сход зерна с сита 2,5 x 20 мм, %	45,46	39,31	47,26	50,88	28,60	33,53	17,89	35,44	37,09	4,95	15,66
Крупность зерна, %	67,39	63,47	71,27	72,08	93,41	48,23	21,24	84,16	64,74	7,62	29,75

Таблица 4. Прямые и косвенные вклады физико-механических свойств зерна в урожайность (2015–2022 гг.)
Table 4. Direct and indirect contributions of physical and mechanical properties of grain to productivity (2015–2022)

Физико-механические свойства зерна	Масса 1000 зерен, г	Натурная масса зерна, г/л	Сход с сита 2,8 x 20 мм, %	Сход с сита 2,5 x 20 мм, %	Крупность, %	г
Масса 1000 зерен, г	-0,00	-0,21	0,77	0,15	-0,14	0,55**
Натурная масса зерна, г/л	-0,00	-0,29	0,56	0,16	-0,11	0,32*
Сход с сита 2,8 x 20 мм, %	-0,00	-0,19	0,87	0,06	-0,15	0,59**
Сход с сита 2,5 x 20 мм, %	-0,00	-0,11	0,13	0,43	-0,07	0,37**
Крупность, %	-0,00	-0,21	0,81	0,21	-0,16	0,64**
Остаточное P ₀ = 0,725						

Примечание. Жирным шрифтом выделены прямые коэффициенты, характеризующие прямые эффекты, курсивом выделены косвенные коэффициенты, характеризующие косвенные эффекты.

Данные таблицы свидетельствуют о низких прямых вкладах массы 1000 зерен (-0,00) и крупности (-0,16) в урожайность зерна; о высоком прямом положительном вкладе (0,87) схода с сита 2,8 x 20 мм в урожайность зерна; о среднем прямом положительном вкладе (0,43) схода с сита 2,5 x 20 мм в урожайность зерна. Достоверная зависимость урожайности зерна от массы 1000 зерен ($r = 0,55$), натурной массы зерна ($r = 0,32$) и крупности ($r = 0,64$) обу-

словлена высокими косвенными вкладами схода с сита 2,8 x 20 мм (0,77/0,56/0,8 соответственно).

Методом двухфакторного дисперсионного анализа экспериментальных данных установлены на 5% уровне значимости достоверные вклады «сорт», «год» и их взаимодействия в общую дисперсию изучаемых физико-механических свойств зерна (табл. 5).

Таблица 5. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа экспериментальных данных за 2015–2022 гг.
Table 5. Results of two-factor analysis of variance of experimental data in 2015–2022

Физико-механические свойства зерна	Фактор дисперсии	SS	mS	F _{факт.}	F _{ст}	Доля фактора, %
Масса 1000 зерен, г	год	4169,74	595,68	7712,46	2,17	76,6
	сорт	652,87	108,81	1408,82	2,25	12,0
	взаимодействие	615,37	14,65	189,70	1,59	11,3
Натурная масса, г/л	год	42453,86	6064,84	3569,48	2,17	76,2
	сорт	3234,25	539,04	317,26	2,25	5,8
	взаимодействие	9904,99	235,83	138,80	1,59	17,8
Сход с сита 2,8 x 20 мм, %	год	17817,49	2545,36	7099,96	2,17	81,7
	сорт	1113,75	185,62	517,78	2,25	5,1
	взаимодействие	2843,79	67,71	188,87	1,59	13,0
Сход с сита 2,5 x 20 мм, %	год	4784,95	683,56	1212,72	2,17	68,7
	сорт	97,64	16,27	28,87	2,25	1,4
	взаимодействие	2046,48	48,73	86,45	1,59	29,4
Крупность, %	год	21630,88	3090,13	1073,65	2,17	80,3
	сорт	964,25	160,71	55,84	2,25	3,6
	взаимодействие	4193,26	99,84	34,69	1,59	15,6

Примечание. SS – сумма квадратов, mS – средний квадрат.

В условиях Предкамской зоны преобладающий вклад в общую дисперсию признаков «сход зерна с сита 2,8 x 20 мм», «крупность», «масса 1000 зерен», «натурная масса зерна», «сход с сита 2,5 x 20 мм» вносил фактор «год», на долю которого приходилось (в порядке убывания) 81,7; 80,3; 76,6; 76,2 и 68,7 % соответственно.

Выводы. 1. Выделены сорта ярового ячменя с высокими физико-механическими свойствами зерна: Эндан характеризовался достоверно высокой массой 1000 зерен (48,5 г), Камашевский – достоверно высокой натурной массой зерна (686,3 г/л), сходом зерна с сита 2,8 x 20 мм (33,90 %) и крупностью зерна (70,02 %).

2. Судя по величине коэффициента детерминации (r^2), наиболее тесно признаки «масса 1000 зерен», «сход зерна с сита 2,8 x 20 мм» и «крупность» связаны со средней суточной температурой воздуха межфазного периода «колошение – полная спелость». Так, 26,0% колебаний массы 1000 зерен, 38,4% колебаний схода зерна с решета 2,8 x 20 мм и 39,7% коле-

баний крупности зерна вызываются колебаниями данного гидротермического показателя.

3. Анализом путевых коэффициентов выявлены высокий прямой положительный вклад (0,87) схода зерна с сита 2,8 x 20 мм и средний прямой положительный вклад (0,43) схода зерна с сита 2,5 x 20 мм в урожайность зерна.

4. Преобладающий вклад в общую дисперсию признаков «сход зерна с сита 2,8 x 20 мм», «крупность», «масса 1000 зерен», «натурная масса», «сход с сита 2,5 x 20 мм» вносил фактор «год», на долю которого приходилось (в порядке убывания) 81,7; 80,3; 76,6; 76,2 и 68,7 % соответственно.

Финансирование. Работа выполнена по государственному заданию «Эколого-генетические подходы к созданию и сохранению ресурсов растений и животных, расширению их адаптивного потенциала и биоразнообразия, разработка сберегающих агротехнологий с целью повышения устойчивости производства высококачественной продукции, достижения безопасности для здоровья человека и окружающей среды», № регистрации 122011800138-7.

Библиографические ссылки

1. Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко А.Н., Левакова О.В., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Ромахин В.В. Оценка качественных показателей зерна сортов и линий ярового ячменя // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019. Т. 20, № 2. С. 126–133. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133
2. Киян Н.Г., Жаркова С.В. Изменчивость показателей признаков ячменя ярового в зависимости от сорта и условий выращивания // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 8-1. С. 152–154. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11477
3. Морозов Н.А., Самсонов И.В., Панкратова Н.А. Оценка адаптивности ярового ячменя по признаку «масса 1000 зерен» к засушливым условиям Ставропольского края // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14, № 4. С. 16–21. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21
4. Мусалитин Г.М., Борадуллина В.А. Влияние крупности посевного материала на урожайность ячменя // Зерновое хозяйство России. 2015. № 5. С. 21–24.
5. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Зависимость показателей качества зерна пивоваренного ячменя от уровня минерального питания и гидротермических условий в период вегетации // Агрохимический вестник. 2020. № 3. С. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036
6. Фомина, М.Н. Особенности формирования зерновой продуктивности перспективных сортов ячменя в зоне Северного Зауралья // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. № 2(249). С. 28–34.
7. Шеболкина Е.Н., Шевченко С.Н., Анисимкина Н.В. Оценка биохимических и технологических показателей зерна сортов пленчатого и голозерного ячменя в условиях Среднего Поволжья // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 1. С. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-23-28
8. Юсова О.А., Николаев П.Н., Анисков Н.И., Сафонова И.В. Адаптивность сортов ячменя по признаку «масса 1000 зерен» в условиях лесостепи Омской области // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 2. С. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10205
9. L. Fali, X. Chen, X. Yu, M. Chen, W. Lu, Y. Wu, F. Xiong. Novel insights into the effect of drought stress on the development of root and caryopsis in barley // Peer J. 2020. Article number: e8469. DOI: 10.7717/peerj.8469
10. Sh. Hamid, K. Chen, B.H. Paynter, T.T. Angessa, Sh. Westcott, H.A. Khan, C.B. Hill, Ch. Li. Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13, Article number: 858652. DOI: 10.3389/fpls.2022.858652

References

1. Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko A.N., Levakova O.V., Eroshenko N.A., Dedushev I.A., Romakhin V.V. Otsenka kachestvennykh pokazatelei zerna sortov i linii yarovogo yachmenya [Estimation of grain quality indicators of spring barley varieties and lines] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2019. T. 20, № 2. S. 126–133. DOI: 10.30766/2072-9081.2019.20.2.126-133
2. Kiyani N.G., Zharkova S.V. Izmenchivost' pokazatelei priznakov yachmenya yarovogo v zavisimosti ot sorta i uslovii vyrashchivaniya [Variability of spring barley trait indicators depending on the variety and growing conditions] // Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2019. № 8–1. S. 152–154. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11477
3. Morozov N.A., Samsonov I.V., Pankratova N.A. Otsenka adaptivnosti yarovogo yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren» k zasushlivym usloviyam Stavropol'skogo kraia [Estimation of the spring barley adaptability based on '1000 grain weight' to the arid conditions of the Stavropol Territory] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2022. T. 14, № 4. S. 16–21. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-82-4-16-21

4. Musalitin G.M., Boradullina V.A. Vliyanie krupnosti posevnogo materiala na urozhainost' yachmenya [The effect of seed size on barley productivity] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2015. № 5. S. 21–24.
5. Pasyнков A.V., Pasynkova E.N. Zavisimost' pokazatelei kachestva zerna pivovarenного yachmenya ot urovnya mineral'nogo pitaniya i gidrotermicheskikh uslovii v period vegetatsii [Dependence of malting barley grain quality indicators on the level of mineral nutrition and hydrothermal conditions during the vegetation period] // *Agrokhimicheskii vestnik*. 2020. № 3. S. 33–41. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10036
6. Fomina, M.N. Osobennosti formirovaniya zernovoi produktivnosti perspektivnykh sortov yachmenya v zone Severnogo Zaural'ya [Features of the formation of grain productivity of promising barley varieties in the Northern Trans-Urals area] // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2019. № 2(249). S. 28–34.
7. Shebolkina E.N., Shevchenko S.N., Anisimkina N.V. Otsenka biokhimicheskikh i tekhnologicheskikh pokazatelei zerna sortov plenchatogo i golozernogo yachmenya v usloviyakh Srednego Povolzh'ya [Estimation of biochemical and technological parameters of grain of varieties of hulled and hulls barley in the conditions of the Middle Volga region] // *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2023. Т. 15, № 1. S. 23–28. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-84-1-23-28
8. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Adaptivnost' sortov yachmenya po priznaku «massa 1000 zeren v usloviyakh Lesostepi Omskoi oblasti [Adaptability of barley varieties based on the trait '1000 grain weight' in the forest-steppe conditions of the Omsk region] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. Т. 34, № 2. S. 24–28. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10205
9. L. Fali, X. Chen, X. Yu, M. Chen, W. Lu, Y. Wu, F. Xiong. Novel insights into the effect of drought stress on the development of root and caryopsis in barley // *Peer J*. 2020. Article number: e8469. DOI: 10.7717/peerj.8469
10. Sh. Hamid, K. Chen, B. H. Paynter, T. T. Angessa, Sh. Westcott, H. A. Khan, C. B. Hill, Ch. Li. Grain-filling rate improves physical grain quality in barley under heat stress conditions during the grain-filling period // *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13, Article number: 858652. DOI: 10.3389/fpls.2022.858652

Поступила: 26.09.23; доработана после рецензирования: 21.10.23; принята к публикации: 30.10.23.

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. Блохина В.И. – общее научное руководство, концептуализация исследований, финальная доработка текста; Никифорова И.Ю. – анализ данных и их интерпретация, критический анализ текста; Ганиева И.С. – сбор данных и доказательств, подготовка рукописи; Ланочкина М.А., Малафеева Ю.В., Дюрбин Д.С. – выполнение полевых и лабораторных опытов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.