

УДК 633.16:631.527:631.526.32(527.1)

DOI 10.30679/2587-9847-2020-29-190-197

АНАЛИЗ СОПРЯЖЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ И АДАПТИВНОСТИ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ

Николаев П.Н., канд. с.-х. наук, **Юсова О.А.**, канд. с.-х. наук
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Омский Аграрный научный центр», г. Омск

Реферат. Цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов ячменя ярового с урожайностью и основными показателями качества зерна с 2011 по 2019 гг. в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Повышение пластичности (b_i) сортов ячменя не оказывало существенного влияния на урожайность и качество зерна ($r = 0,109$ и $0,232$). С повышением стабильности (σ_a^2) сортов увеличивалось содержание крахмала ($r = 0,429$) и сырого жира в зерне ($r = 0,656$); снижались урожайность ($r = -0,204$), содержание белка ($r = -0,399$) и пленчатость зерна ($r = -0,447$).

Ключевые слова: яровой ячмень, качество зерна, урожайность, стабильность, пластичность, корреляция.

Summary. The purpose of the study is to determine the correlation of adaptive parameters of spring barley varieties with productivity and the main indicators of grain quality from 2011 to 2019 in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. Increased plasticity of barley varieties did not significantly affect the yield and quality of grain ($r = 0.109$ and 0.232). With increasing stability of varieties, the content of starch ($r = 0.429$) and raw fat in the grain ($r = 0.656$) increased; the yield ($r = -0,204$), the protein content ($r = -0,399$) and the film content of the grain ($r = -0,447$) decreased.

Key words: spring barley, grain quality, yield, stability, plasticity, correlation.

Введение. Яровой ячмень – ключевая зернофуражная и кормовая культура [1], которая формирует повышенную урожайность (по сравнению с иными зернофуражными культурами) за счет скороспелости и засухоустойчивости [2].

Одним из актуальнейших предметов обсуждения современности считается проблема наблюдаемых и предстоящих изменений климата как в общемировом плане [3], так и применительно к агрономии [4]. Климатические метаморфозы в течение прошлого десятилетия привели к изменениям фитоценозов, что проявилось в отрицательном эффекте производительности зерновых культур [5]. В связи с глобальными климатическими изменениями, особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами [6], что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности, так и качества сельскохозяйственной продукции.

Однако, взаимосвязь адаптивности сортов с показателями качества зерна сельскохозяйственных культур и, в частности, ячменя ярового, изучена недостаточно.

В связи с вышеизложенным, цель исследования – определение сопряженности параметров адаптивности сортов ячменя ярового с урожайностью и основными показателями качества зерна.

Материал и методы исследований. Экспериментальная часть работы проводилась в течение 2011–2019 гг. на опытных полях Омского аграрного научного центра (г. Омск), расположенных в южной лесостепи Западной Сибири. Почва опытного участка – лугово-черноземная, слабо выщелоченная, содержание гумуса – 6 %, рН почвенного раствора 6,5-

6,8. Посев проведен, в зависимости от погодных условий, с 21 по 28 мая селекционной сеялкой ССФК-7, третий селекционный севооборот по предшественнику пшеницы, четвертая культура после пара. Норма высева – 4 млн. всхожих зерен на 1 га. Учетная площадь делянки – 10 м². Размещение систематическое, повторность – четырехкратная. Основная обработка почвы включала послеуборочное лущение стерни и зяблевую вспашку. Обработка зяби состояла из закрытия влаги боронованием и последующей культивации на глубину 6...8 см. Уборка проведена в фазу полной спелости селекционным комбайном Хеге-125.

Объектами исследований являлись 13 сортов ярового ячменя селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» (ФГБНУ СибНИИСХ), включенные в Госреестр по Западно-Сибирскому (10) региону. К пленчатой многорядной группе относится сорт Омский 99 (стандарт); к пленчатой двурядной – сорта Омский 95 (стандарт), Омский 91, Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири, Омский 90, Омский 96, Омский 100, Омский 101. Сорт Омский голозерный 1(стандарт) относится к группе двурядных голозерных; сорта Омский голозерный 2 (стандарт) и Омский голозерный 4 – к группе многорядных голозерных.

Анализ образцов конкурсного сортоиспытания проводился по полевым повторениям, не менее 2-х повторений, с последующим перерасчетом достоверности признака. Аналитическая повторность – двукратная.

Определение биохимических показателей проводили с использованием современных и традиционных методов и технологий [7].

Математическая обработка данных проведена методами вариационного, корреляционного и дисперсионного анализов по пособию Б.А. Доспехова [8] в приложении Excel для ПК. Индекс условий окружающей среды (I_ж), коэффициент линейной регрессии (b_i) и величина стабильности реакции сортов (σ_a^2) рассчитаны по методике Эберхарда и Рассела [9].

Периоды исследований с 2011 по 2019 гг. характеризовались контрастными условиями, что характерно для резко-континентальных условий Омской области. Периоды вегетации 2011 и 2014 гг. отмечены, как засушливые (ГТК = 0,90 и 0,92), 2015 г. – сухой и холодный (ГТК = 0,70), 2013 г. – достаточно увлажненный (ГТК = 0,99). По средним температурам на протяжении всего периода исследований наблюдался недостаток (-6,9...-0,4°С) по сравнению со среднеголетними данными, рис. 1, 2.

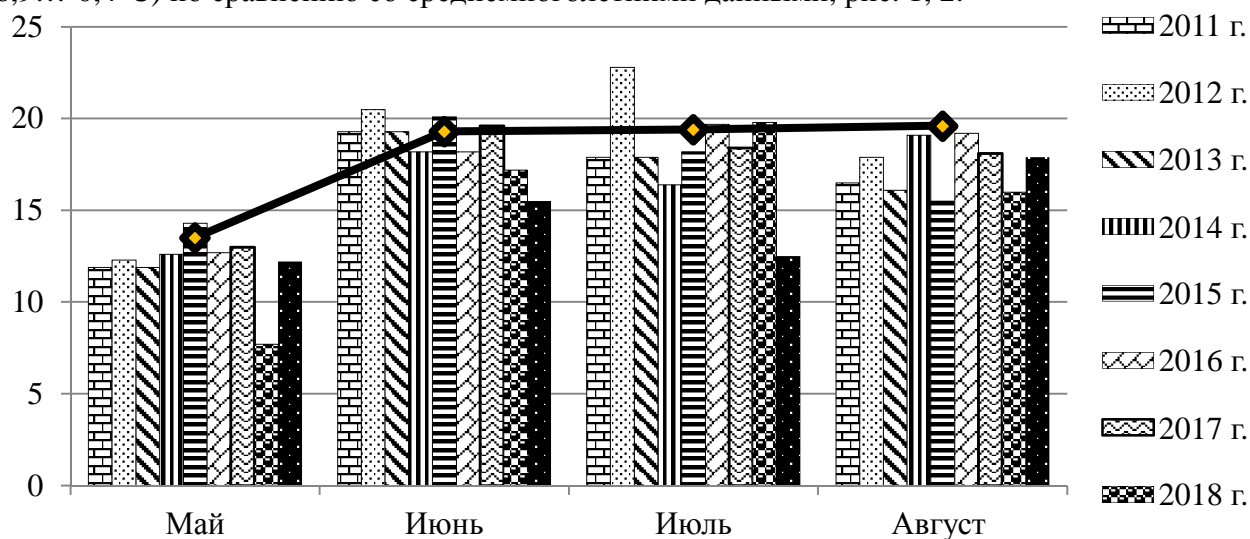


Рисунок 1 – Характеристика вегетационных периодов 2011-2019 гг. по средней температуре воздуха, °С, Омская ГМОС

Исключения наблюдались в мае и июне 2015 г. (+0,8°C); июне 2017 г. (+0,3°C); июле 2012 г. (+3,4°C), 2016 и 2018 гг. (+0,3 и +0,4 8°C к норме). Температура воздуха в июне 2011 и 2013 гг. соответствовали среднемуголетним данным (19,3°C). На этом фоне наблюдались обильные осадки (+31,3...+414,3% к среднемуголетним данным).

Недостаток осадков характерен для следующих периодов: май и июнь 2011 г. (51,3 и 64,7% к норме), май 2016 г. (36,0 %), июнь 2014 г. (78,9 %), июль 2012 г. (38,1 %), август 2017 г. (87,5 %). В третьей декаде июля и августа в колосе растения образуется зерновка, поэтому климатические показатели данных периодов оказывают непосредственное воздействие на урожайность.

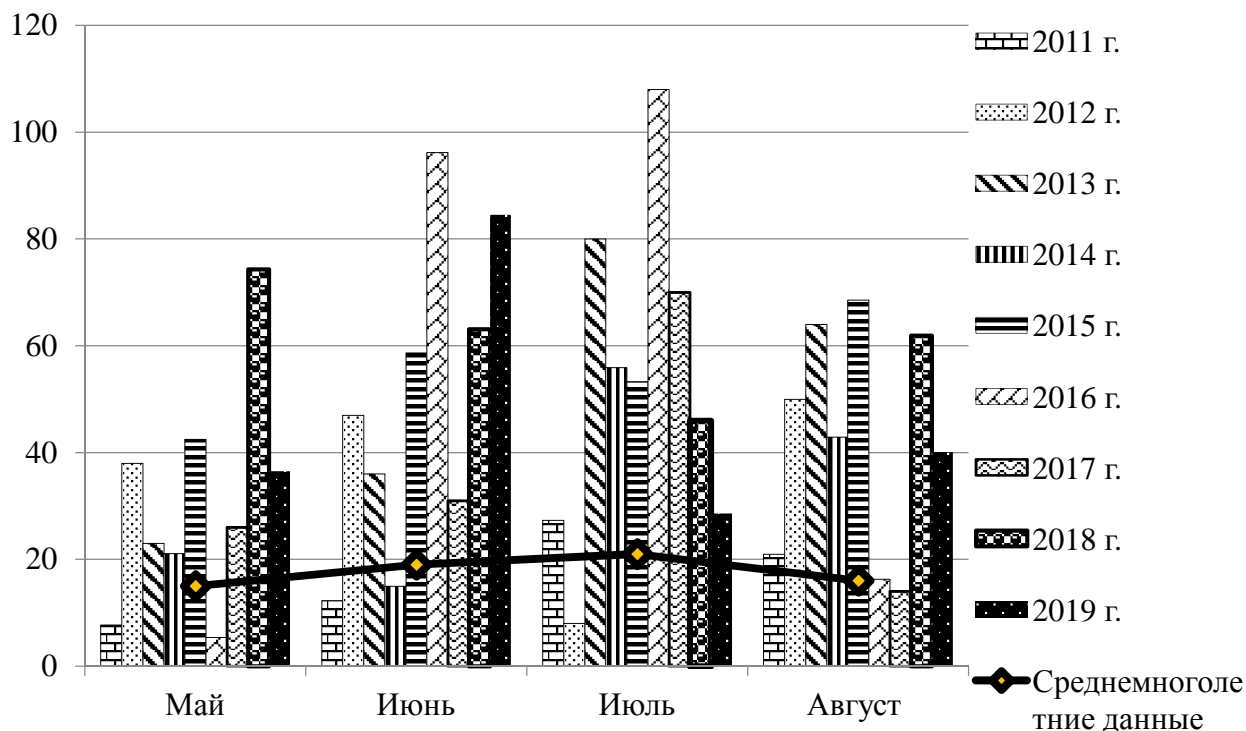


Рисунок 2 – Характеристика вегетационных периодов 2011-2019 гг. по сумме осадков, мм, Омская ГМОС

Результаты и их обсуждение. Урожайность является основополагающим агрономическим показателем, определяющим результативность любых исследований [10-12]. Это интегральный признак, выражение которого зависит от многочисленных составляющих: абио- и биотических показателей, условий интенсификации земледелия, сортовых особенностей возделываемой культуры. В современных агроэкологических условиях, вследствие недостаточной стрессоустойчивости растений, потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур реализуется крайне слабо – от 25 до 40 % [13]. Улучшить данный фактор возможно путем более эффективного использования ресурсовосстанавливающей роли сорта, которая оказывает непосредственное влияние на потенциальную продуктивность, но, в настоящий момент, слабо изучена [14].

В среднем за 2011 – 2019 гг. стандартные сорта ячменя голозерной формы превышали по качеству зерна пленчатые образцы: прибавка по содержанию белка составила 1,8 %, крахмала – 6,55 % и сырого жира – 0,3 %, рис. 3, 4.

Сорта пленчатой формы превышали голозерные по урожайности (+0,75 т/га) и по массе 1000 зерен (+ 2,65 г). В свою очередь, в каждой группе двурядные стандартные сорта превышали многорядные по содержанию белка (+1,0 % в пленчатой группе и +0,6 % в голозерной) и по массе 1000 зерен (+7,4 и + 8,7 г соответственно).

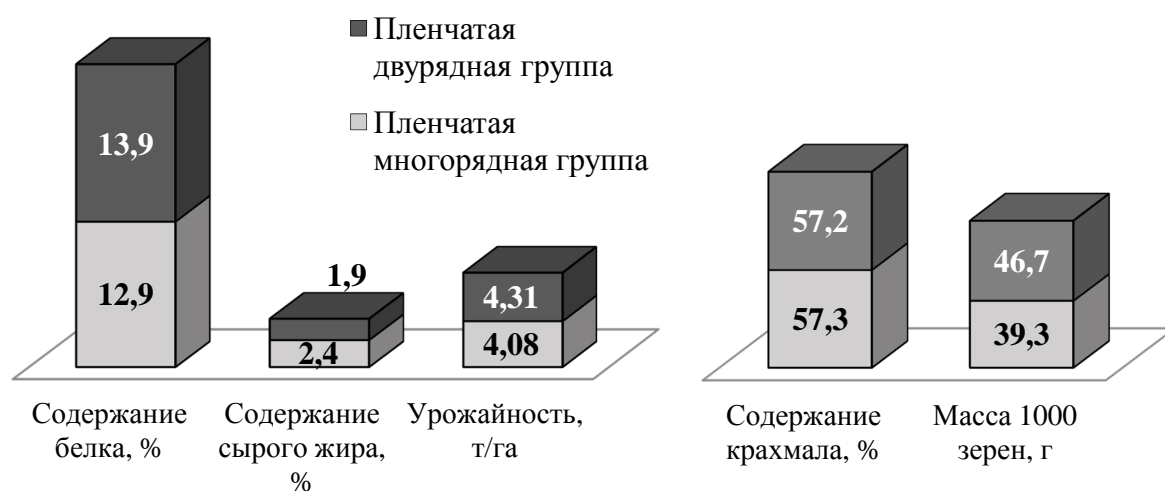


Рисунок 3 – Сравнительная характеристика стандартных сортов ячменя ярового пленчатой группы по основным показателям качества зерна и продуктивности, в среднем за 2011-2019 гг.

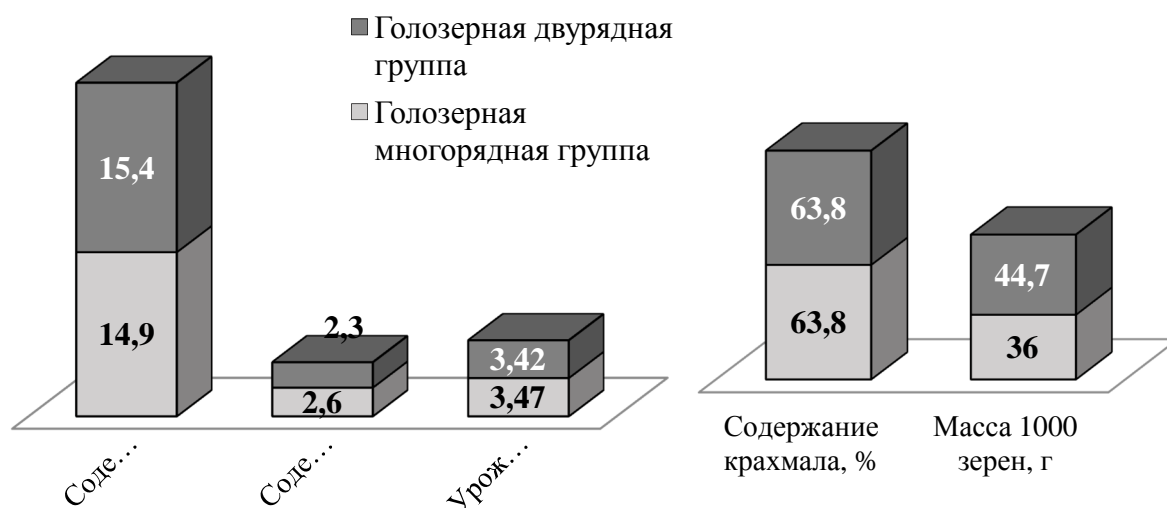


Рисунок 4 – Сравнительная характеристика стандартных сортов ячменя ярового голозерной группы по основным показателям качества зерна и продуктивности, в среднем за 2011-2019 гг.

Минимальная урожайность ярового ячменя наблюдалась в 2012 г. (2,23 т/га в среднем по культуре, при самых низких значениях индекса условий окружающей среды $I_j = -2,00$). У стандартных сортов ячменя урожайность варьировала от 1,25 т/га (Омский 99) до 2,22 т/га (Омский 95).

Максимальная урожайность составила 5,63 т/га в 2019 г. ($I_j = 1,57$). Урожайность стандартных сортов изменялась от 5,05 т/га (Омский голозерный 2) до 5,97 т/га (Омский голозерный 1).

В среднем за период исследований, в самой многочисленной группе двурядных пленчатых, достоверно превышали стандарт по урожайности сорта Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири и Омский 100 (+0,47...+1,97 т/га).

Глобальные климатические изменения, безусловно, являются одним из факторов снижения производительности зерновых культур [5]. В связи с чем особую актуальность приобретает проблема создания и использования в сельскохозяйственном производстве сортов с повышенными приспособительными качествами [6], что является ключевым фактором для стабильного увеличения как урожайности. Интенсивность процессов изменений климата диктует необходимость исследований сортов на предмет их адаптивности.

Таблица 1 – Выраженность и изменчивость урожайности сортов ячменя ярового, т/га

Сорт	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	X_i	b_i	σ_a^2
группа многорядных пленчатых сортов												
Омский 99, st.	5,03	1,25	3,37	4,28	5,32	4,08	4,92	2,69	5,79	4,08	0,66	1,45
группа многорядных голозерных сортов												
Омский голозерный 2, st.	4,40	1,32	1,82	3,38	3,71	2,75	3,99	4,84	5,05	3,47	0,89	0,25
Омский голозерный 4	-	-	-	2,28	4,00	2,51	4,42	5,13	5,14	3,91	1,23	2,34
группа двурядных голозерных сортов												
Омский голозерный 1, st.	3,54	1,72	1,63	3,05	4,24	2,10	3,29	5,25	5,97	3,42	1,06	0,29
группа двурядных пленчатых сортов												
Омский 95, st.	5,31	2,22	3,42	4,22	5,91	2,11	5,09	5,27	5,22	4,31	0,93	0,46
Омский 91	4,45	2,39	2,21	3,26	5,25	2,41	2,49	5,53	5,31	3,70	0,95	0,41
Сибирский авангард	5,53	1,94	2,84	3,10	6,24	2,95	2,85	6,73	5,69	4,21	1,22	0,62
Саша	5,68	2,47	3,28	3,26	6,44	4,02	4,54	6,49	6,13	4,70	1,10	0,18
Подарок Сибири	5,66	3,19	3,44	3,36	6,43	3,61	5,16	6,25	7,19	4,92	1,10	0,20
Омский 90	4,62	2,36	2,28	3,65	5,10	1,85	4,19	4,58	4,93	3,73	0,86	0,26
Омский 96	5,43	2,38	2,11	2,98	4,82	3,12	4,69	6,18	5,59	4,14	1,06	0,28
Омский 100	5,82	2,77	3,46	3,72	6,55	3,96	5,28	6,44	5,97	4,68	1,02	0,11
Омский 101	4,66	2,77	3,46	3,72	6,55	3,96	5,01	6,54	5,26	4,66	0,91	0,27
X_j	5,01	2,23	2,78	3,40	5,33	3,03	4,30	5,53	5,63	4,15		
$НСР_{05}$	0,50	0,20	0,80	0,94	0,82	1,00	0,95	1,10	0,94	-	-	-
I_j	0,56	-2,00	-1,50	-0,66	1,36	-1,03	0,24	1,47	1,57	-	-	-

Примечание: X_i – среднее по сорту; X_j – среднее по году; I_j – индекс условий окружающей среды; $НСР_{05}$ – наименьшая существенная разница; st. – стандартный сорт.

Метод S. A. Eberhart, W. A. Russell позволяет оценить сорта по их отзывчивости на условия выращивания путем определения коэффициента регрессии (b_i) и дисперсии стабильности (σ_a^2) [9]. Считается, что чем выше единицы коэффициент регрессии, тем сильнее отзывчивость сорта на улучшение условий выращивания. Такие сорта требовательны к высокому уровню агротехники, так как только в этом случае они дадут максимум отдачи. В случае, когда коэффициент регрессии меньше, сорта показывают лучшие результаты в неблагоприятных условиях выращивания.

Анализ коэффициентов регрессии позволил все исследуемые сорта по основным показателям качества зерна и продуктивности разделить на три группы:

Представлена сортами при $b_i > 1$: Омский голозерный 4, Сибирский авангард, Саша и Подарок Сибири. Данные сорта при улучшении условий выращивания увеличивали урожайность, что соответствует интенсивному типу.

Группа при $0,96 < b_i < 1,06$ включает стандарт Омский голозерный 1, а также сорта Омский 91, Омский 96 и Омский 100. Коэффициент регрессии перечисленных сортов близок к единице, что свидетельствует о полном соответствии полученной урожайности изменению условий выращивания.

Стандартные сорта Омский 99, Омский 95 и Омский голозерный 2, а также сорта Омский 91, Омский 90 и Омский 101, у которых отмечен минимальный по опыту коэффициент регрессии ($b_i < 1$), характеризовались слабой реакцией урожайности на улучшение условий выращивания, что соответствует экстенсивному типу.

S.A. Eberhart, W.A. Russell предложили использовать дополнительный параметр, характеризующий степень изменчивости исследуемых сортов, который определяется как отклонение от линии регрессии. Это степень стабильности реакции (σ_d^2), которая является важным параметром оценки генотипов в процессе их изучения [9]. Чем ниже σ_d^2 , тем меньше различие между теоретическими и практическими показателями качества, а отсюда – более высокая устойчивость данного признака. Согласно полученным данным, высокой стабильностью характеризовались пленчатые сорта: Омский голозерный 2, Омский голозерный 1, Омский 95, Омский 91, Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири, Омский 90, Омский 96, Омский 100 и Омский 101 ($\sigma_d^2 < 1$).

Современный уровень земледелия еще не может в достаточной степени нивелировать действия неблагоприятных природных факторов. Поэтому сорта должны сочетать хорошую отзывчивость на повышение плодородия и устойчивость к лимитирующим факторам среды [6]. Таким образом, согласно данным наших исследований, высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью обладали сорта ячменя Сибирский авангард, Саша и Подарок Сибири ($b_i > 1$; $\sigma_d^2 < 1$).

Качество зерна стандартных сортов описано выше. В данном разделе хочется отметить, что, в основном, все исследуемые сорта характеризовались значениями по исследуемым показателям качества на уровне, либо ниже стандартов. Достоверное превышение по масличности зерна отмечено у сортов Омский голозерный 4, Омский 91 и Саша (+0,4...+0,6 % к st.). Сорта Омский 91, Сибирский авангард, Омский 90, Омский 96, Омский 100 и Омский 101 отличались пониженной пленчатостью зерна (-0,7...-1,4% к st.).

Согласно корреляционному анализу, в период исследований 2011-2019 гг. тесная прямая сопряженность между показателями качества зерна способствовала тому, что при повышении содержания белка в зерне повышались крахмалистость и пленчатость зерна ($r = 0,523$ и $0,404$). При увеличении содержания крахмала в зерне возрастала масличность зерна ($r = 0,698$). Однако при увеличении урожайности зерна его качественные показатели снижались ($r = -0,449...-0,677$), пленчатость возрастала ($r = 0,578$), при $F_{\text{факт.}} > F_{05}$.

Очевидно, в данном случае стоит вести речь о конкуренции при формировании урожайных и качественных показателей зерна, что подтверждается исследованиями других авторов [6].

Повышение пластичности (b_i) сортов ячменя не оказывало существенного влияния на урожайность и качество зерна ($r = 0,109$ и $0,232$), при $F_{\text{факт.}} > F_{05}$.

В свою очередь, стабильность (σ_d^2) сортов характеризовалась средней прямой сопряженностью с содержанием крахмала в зерне ($r = 0,429$), сильной прямой – с масличностью зерна ($r = 0,656$). Средняя обратная корреляционная зависимость стабильности (σ_d^2) наблюдалась с белковостью и пленчатостью зерна ($r = -0,399$ и $-0,447$), слабая с урожайностью ($r = -0,204$).

Таблица 2 – Выраженность и изменчивость качества зерна сортов ячменя ярового

Сорт	Содержание белка, %		Содержание крахмала, %		Содержание сырого жира, %		Пленчатость зерна, %	
	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}	Lim.	\bar{x}
многорядные пленчатые								
Омский 99, st.	10,4-16,9	12,9	52,9-61,4	57,3	1,6-3,0	2,4	5,9-9,9	8,1
многорядные голозерные								
Омский голозерный 2, st.	13,2-20,3	14,9	59,1-66,7	63,8	2,2-3,5	2,6	-	-
Омский голозерный 4	13,3-15,1	13,6	60,1-66,9	64,3	2,7-3,4	3,0*	-	-
двурядные голозерные								
Омский голозерный 1, st.	13,4-20,3	15,4	58,5-66,7	63,8	1,9-3,1	2,3	-	-
двурядные пленчатые								
Омский 95, st.	11,3-18,1	13,9	52,2-59,5	57,2	0,9-2,8	1,9	7,2-11,7	9,3
Омский 91	11,7-17,1	13,7	51,6-64,7	57,9	2,1-3,1	2,5*	7,5-9,9	8,4*
Сибирский авангард	10,8-17,6	13,6	52,9-60,1	56,4	1,4-2,7	2,0	7,6-8,1	7,9*
Саша	11,8-16,9	13,9	52,2-58,8	55,6	1,6-2,7	2,3*	7,3-13,1	9,4
Подарок Сибири	11,5-16,1	13,7	54,2-59,5	56,6	1,5-3,0	2,1	8,4-10,1	9,2
Омский 90	10,9-17,0	13,7	52,9-59,5	56,9	1,3-2,6	2,1	7,8-8,5	8,2*
Омский 96	11,7-17,2	14,5	52,9-58,8	55,7	0,9-2,7	2,1	6,9-10,1	8,6*
Омский 100	11,3-16,5	13,4	52,9-61,4	56,1	1,8-3,0	2,3*	6,2-10,6	8,4*
Омский 101	12,0-16,7	14,2	53,6-61,4	57,5	1,3-2,6	2,1	7,5-9,5	8,6*
НСР ₀₅		0,8		1,2		0,3		0,6

* – различия достоверны при уровне значимости $p \leq 0,05$.

Выводы. В условиях периода вегетации 2011-2019 гг. Сорты пленчатой формы превышали голозерные по урожайности (+0,75 т/га) и по массе 1000 зерен (+ 2,65 г). В свою очередь, в каждой группе двурядные стандартные сорта превышали многорядные по содержанию белка (+1,0 % в пленчатой группе и +0,6 % в голозерной) и по массе 1000 зерен (+7,4 и + 8,7 г соответственно). Повышенными показателями урожайности и качества зерна характеризовались:

- по урожайности сорта Сибирский авангард, Саша, Подарок Сибири и Омский 100 (+0,47...+1,97 т/га к st.).

- по масличности зерна сорта Омский голозерный 4, Омский 91 и Саша (+0,4...+0,6 % к st.).

- пониженной пленчатостью зерна отличались сорта Омский 91, Сибирский авангард, Омский 90, Омский 96, Омский 100 и Омский 101 (-0,7...-1,4% к st.).

Высокой отзывчивостью на улучшение условий среды и высокой стабильностью обладали сорта ячменя Сибирский авангард, Саша и Подарок Сибири ($b_i > 1$; $\sigma_d^2 < 1$). Повышение содержания белка в зерне способствовало повышению крахмалистости и пленчатости зерна ($r = 0,523$ и $0,404$). При увеличении содержания крахмала в зерне возрастала его масличность ($r = 0,698$). Однако при увеличении урожайности,

качественные показатели зерна снижались ($r = -0,449 \dots -0,677$) и возрастала пленчатость ($r = 0,578$). Повышение пластичности (bi) сортов ячменя не оказывало существенного влияния на урожайность и качество зерна ($r = 0,109$ и $0,232$). С повышением стабильности (σ_a^2) сортов увеличивалось содержание крахмала ($r = 0,429$) и сырого жира в зерне ($r = 0,656$); снижались урожайность ($r = -0,204$), содержание белка ($r = -0,399$) и пленчатость зерна ($r = -0,447$).

Литература

1. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. Москва: Альянс, 2011. 350 с.
2. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И. и др. Агробиологическая характеристика многорядных голозерных сортов ячменя селекции Омского АНЦ // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 180 (1). № 2019, С. 37-43. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-1-38-43.
3. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И. и др. Новый среднеспелый сорт ярового ячменя Омский 101 // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, 2019. № 180 (2). С. 83-88. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-2-83-88.
4. Плешков Б.П. Практикум по биохимии растений. М.: Колос, 1976. С. 144-148.
5. Полонский В.И., Сумина А.В., Шалдаева Т.М. Содержание белков и углеводов в зерне ячменя и овса Сибирской селекции. Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 49-55.
6. Рыбась И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур. Сельскохозяйственная биология. 2016. № 51(5). С. 617-626.
7. Сурин Н.А., Ляхова Н.Е., Герасимов С.А. Комплексная оценка селекционного материала в селекции ячменя на адаптивность в Восточносибирском регионе. Вестник Кемеровского государственного университета. 2015. № 4(64). С. 98-103.
8. Чайка V.M., Rubezhniak I.G., Grib O.G. Effect of Climatic changes on the Productivity of Agrocoenoses and semi-natural forest-steppe ecosystems. Science and Society. 2013. No. 1. P. 192-201.
9. Eberhart S.A., Russell W.A. Stability parameters for comparing varieties // Crop. sci. 1966. Vol.6, No. 1. P. 36-40.
10. Herger N., Angéllil O., Abramowitz G. et al. Calibrating Climate Model ensembles for assessing extremes in a Changing Climate. Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2018. No. 123(11). P. 5988-6004.
11. Hill C.B., Li C. Genetic Architecture of Flowering Phenology in cereals and Opportunities for crop Improvement. Frontiers in Plant Science. 2016, 7(December 2016). P. 1906. DOI: 10.3389/fpls.2016.01906.
12. Lipka O.N. Methodological approaches to Climate change vulnerability assessment of Protected areas. Nature Conservation Research. 2017. No. 2(3). P. 68-79.
13. Rapacz M., Stepień A., Skorupa K. Internal Standards for quantitative rt-pcr studies of gene expression under drought Treatment in Barley (*hordeum vulgare* L.): the Effects of developmental Stage and Leaf Age. Acta Physiologiae Plantarum. 2012. No. 5(64). P. 1723-1733. DOI: 10.1007/s11738-012-0967-1.
14. Varga B., Vida G., Varga-Laszlo E. et al. Effect of simulating drought in various phenophases on the water use efficiency of winter wheat. Agronomy and Crop Science. 2015. No. 1-9. P. 201. DOI: 10.1111/jac.12087..