

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И ПОКАЗАТЕЛИ АДАПТИВНЫХ СВОЙСТВ СОРТОВ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

В.А. СТЕБАКОВ, кандидат сельскохозяйственных наук,

E-mail: stebakovva@yandex.ru

В.И. МАЗАЛОВ*, доктор сельскохозяйственных наук,

E-mail: mazalov-1958@mail.ru

В.Г. НЕБЫТОВ*, кандидат биологических наук, E-mail: nebuytov@yandex.ru

ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ КУЛЬТУР

*ШАТИЛОВСКАЯ СХОС – ФИЛИАЛ ФГБНУ ФНЦ ЗЕРНОБОБОВЫХ И КРУПЯНЫХ
КУЛЬТУР

Аннотация. Исследования выполняли в 2020-2024 гг. на Шатиловской СХОС с сортами ярового ячменя Яромир, Надежный, Суздалец, Азимут, Федос, Формат, Таловский 9, Жемчужный на выщелоченном тяжелосуглинистом среднемоощном черноземе: pH – 5,5-5,6; содержание гумуса - 6,4-6,9% (по Тюрину); подвижного фосфора (P_2O_5) – 87-93 мг/кг и обменного калия (K_2O) 125-138 мг/кг почвы (по Чирикову). Наиболее высокое значение коэффициента детерминации между показателями «сумма осадков и урожайность по сортам» отмечалось за апрель ($r^2=0,796$) у сорта Федос. Высокая зависимость урожая зерна от осадков июня определена у сорта Яромир ($r^2=0,499$) и от августовских осадков у сортов Яромир и Формат ($r^2=0,679$ и $r^2=0,901$). Из сравниваемых сортов наибольшей средней урожайностью зерна в 2020-2024 гг. выделился сорт ярового ячменя Надежный (4,7 т/га), самой низкой - сорта Суздалец и Таловский 9 (3,8 т/га). Урожайность сортов ярового ячменя Яромир, Федос, Формат, Азимут и Жемчужный в среднем за пять лет в сравнении с стандартом (Суздалец) была выше, соответственно на 0,3-0,9 т/га. Самыми низкими показателями: стрессоустойчивостью ($Y_{min}-Y_{max} = -2,6$ т/га), коэффициентом адаптации ($KA = 0,92$), гомеостатичностью ($Hom = 0,17$), селекционной ценности ($Sc=1,98$), относительной стабильности ($St^2 = 0,94$) и самой высокой величиной варьирования урожая по годам - коэффициентом вариации ($V=22\%$), характеризовался сорт Суздалец. Сорт Надежный в 2020-2024 гг. соответствовал наибольшим значениям показателей: генетической гибкости (2,8 т/га), коэффициенту адаптивности ($KA=1,13$), относительной стабильности ($St^2=0,99$) и оптимальному сочетанию параметров пластичности и стабильности с $bi = 0,76$ и $St^2 = 0,09$. По наименьшей сумме рангов ($\Sigma=30$) сорт ячменя Надежный наиболее адаптирован к условиям Орловской области. Урожайность сортов существенно коррелировала с коэффициентом адаптивности (KA), $r=0,994$. Статистически достоверны отрицательные корреляционные зависимости между ($Y_{min}-Y_{max}$) и коэффициентом вариации (V , %) $r = -0,968$, коэффициентом регрессии (bi), $r = -0,957$ и положительные между ($Y_{min}-Y_{max}$) и гомеостатичностью (Hom), $r = 0,901$, показателем относительной стабильности (St^2), $r = 0,906$. Между коэффициентом вариации (V , %) и гомеостатичностью (Hom), $r = -0,938$, селекционной ценностью (Sc), $r = -0,941$, относительной стабильностью (St^2), $r = 0,961$ и коэффициентом регрессии (bi), $r = 0,964$ отрицательные и положительная корреляционные связи статистически значимы.

Ключевые слова: ячмень яровой «*Hordeum sativum* L», сорт, урожайность, адаптивность, пластичность, стабильность, выщелоченный чернозем.

Для цитирования: Стебаков В.И., Мазалов В.И., Небытов В.Г. Влияние погодных условий на урожайность и показатели адаптивных свойств сортов ярового ячменя. Зернобобовые и крупяные культуры. 2025. № 4 (56):105-114 DOI: 10.24412/2309-348X-2025-4-105-114

THE INFLUENCE OF WEATHER CONDITIONS ON YIELDS AND ADAPTIVE PROPERTIES OF SPRING BARLEY VARIETIES

V. A. Stebakov, V. I. Mazalov*, V. G. Nebytov*

FSBSI FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

*SHATILOVO AGRICULTURAL EXPERIMENTAL STATION – BRANCH OF FSBSI
FEDERAL SCIENTIFIC CENTER OF LEGUMES AND GROAT CROPS

Abstract: The research was carried out in 2020-2024 at the Shatilov agricultural experimental station with spring barley varieties Yaromir, Nadezhnyj, Suzdalec, Azimut, Fedos, Format, Talovskij 9, Zhemchuzhnyj on leached heavy loamy medium-sized chernozem: pH - 5.5-5.6; humus content - 6.4-6.9% (Tyurin); mobile phosphorus (P_2O_5) - 87-93 mg/kg and exchangeable potassium (K_2O) 125-138 mg/kg of soil (according to Chirikov). The highest value of the coefficient of determination between the indicators "precipitation totality and yield by variety" was noted in April $r^2=0.796$ for the Fedos variety. A high dependence of grain yield on June precipitation was found in the Yaromir variety $r^2=0.499$ and on August precipitation in the Yaromir and Format varieties, $r^2=0.679$ and $r^2=0.901$. The highest average grain yield in 2020-2024 was the Nadezhnyj spring barley variety (4.7 t/ha), the lowest was the Suzdalec and Talovskij 9 varieties (3.8 t/ha). The yield of spring barley varieties Yaromir, Fedos, Format, Talovskij 9 and Zhemchuzhnyj was higher on average over five years compared to the standard (Suzdalec), by 0,3 – 0,6 t/ha, respectively. The lowest indicators were stress resistance ($Y_{min}-Y_{max}=-2.6$ t/ha), adaptation coefficient ($KA=0.92$), homeostaticity ($Hom = 0.17$), relative stability index ($St^2 = 0.25$) and the highest value of yield variation over the years - the coefficient of variation ($V=25\%$) was characterized by the standard variety is Suzdalec. In 2020-2024, the Nadezhnyj variety had the highest values of indicators: genetic flexibility (2.8 t/ha), coefficient of adaptability ($KA=1.13$), relative stability ($St^2 = 0.99$) and corresponded to the optimal combination of plasticity and stability parameters with $bi = 0.76$ and $Si^2 = 0.09$. The lowest, sum of the ranks of each indicator - 20 corresponded to the Nadezhny variety adapted to the conditions of the Orel region. The yield of the varieties correlated most significantly with the coefficient of adaptation (KA), $r=0.994$. There are statistically significant negative correlations between ($Y_{min}-Y_{max}$) and coefficient of variation (V , %), $r= -0.968$, regression coefficient (bi), $r = -0.957$ and positive correlations between ($Y_{min}-Y_{max}$) and homeostaticity (Hom), $r = 0.901$, relative stability index (St^2), $r = 0.906$. Negative and positive correlations are statistically significant between coefficient of variation (V , %) and homeostaticity (Hom), $r = -0.938$, breeding value (Sc), $r = -0.941$, relative stability (St^2), $r = 0.961$ and regression coefficient (bi), $r = 0.964$.

Keywords: spring barley (*Hordeum sativum* L.); variety, yield, adaptability, leached chernozem.

Яровой ячмень – ценная зернофуражная культура, которая в Орловской области среди яровых зерновых занимала в 2020 году 185,5 тыс. га, в 2024 году – 125,1 тыс. га посевных площадей. В зерне ячменя содержатся незаменимые для человека и животных аминокислоты, включая наиболее ценные – лизин и триптофан. Большая доля зерна ячменя используется в животноводстве, рационе свиней, КРС и птицы, меньшая – в производстве муки и ячменного кофе, в котором отсутствует кофеин. Благодаря высокой питательной ценности перловая и ячневая крупы – ценный диетический продукт, способствующий улучшению пищеварения, снижению избыточного веса и ожирения. Пивоваренный ячмень служит сырьем для производства пива, экспортируется из Орловской области в Белоруссию и страны Балтии. Яровой ячмень – культура с коротким сроком созревания и в условиях оптимальной влагообеспеченности отличается значительной отзывчивостью на удобрения [1]. Высокая температура, условия недостаточной влагообеспеченности, негативно сказываются на урожайности, показателях качества зерна ячменя, продолжительности вегетационного периода [2-5]. Поэтому большое значение по результатам сортоиспытания

имеет внедрение в производство сортов с высокой урожайностью, устойчивых к неблагоприятным погодным условиям, зерном высокого качества [6-14].

Цель исследования – оценка урожайности и адаптивных свойств сортов ярового ячменя, созданных в различных почвенно-климатических зонах и влияние на эти показатели погодных условий.

Условия, материалы и методы

Исследования выполняли в 2020-2024 гг. на Шатиловской СХОС с 8 сортами ярового ячменя: Яромир, Надежный, Суздалец (ФИЦ «Немчиновка»), Азимут, Федос, Формат (АНЦ «Донской», Черноград), Таловский 9 (Воронежский ФАНЦ имени В.В. Докучаева), Жемчужный (ФНЦ имени И.В. Мичурина).

Почва – выщелоченный тяжелого гранулометрического состава, среднемощный чернозем; pH – 5,5-5,6; содержание гумуса – 6,4-6,9% (по Тюрину); подвижного фосфора – 87-93 мг/кг и обменного калия (K_2O) 125-138 мг/кг почвы (по Чирикову). Предшественник – чистый пар, повторность 3-кратная, учетная площадь делянки 9 м². Обработка почвы включала – ранневесеннее боронование, внесение удобрений под предпосевную культивацию в дозе $N_{45}P_{45}K_{45}$ кг/га (P_{205}). Применяли азотные – Наа, фосфорные – Рсд и калийные – Кх минеральные удобрения. Посев культуры проводили сеялкой СН-16 в оптимально ранние сроки (12.04.2020; 13.04.2021; 16.04.2022; 13.04.2023; 12.04.2024) с нормой высева 4,5 млн всхожих семян на 1 га. В течение вегетации проводили учеты, наблюдения и оценку сортов в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (2019). Уборку урожая осуществляли в фазе полной спелости поделочно комбайном Сампо 130. Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову (2019), коэффициент линейной регрессии (b_i) и среднеквадратическое отклонение (S_i^2) урожайности выполняли по Эберхарту и Раселлу в редакции Пакудина с соавторами (1984), устойчивость к стрессу ($Y_{min}-Y_{max}$) и компенсаторную способность $(Y_{min} + Y_{max})/2$ – по А. А. Rossielle и S. Hemblin (1981) в изложении А. А. Гончаренко (2005), коэффициент адаптивности (КА) – по Л.М. Животкову и соавт. (1984), гомеостатичность (Hom) и селекционную ценность (Sc) определяли по В.В. Хангильдину (1977), показатель относительной стабильности (St^2) по Н.А.Соболеву (1980).

Результаты и обсуждение

По результатам дисперсионного анализа определена достоверность различий по урожайности между сортами, годами исследования и их взаимодействия. Наиболее существенный вклад (50%) в общую дисперсию урожайности вносил фактор среды «годы исследования». Роль сорта составляла 19%. Изменчивость урожайности на 31% достоверно обусловлена взаимодействием факторов «сорт и среда». Погодные условия (по данным метеостанции Верховье) за вегетационный период отличались неравномерностью распределения месячных осадков и показателей среднесуточной температуры воздуха. Среднегодовое количество осадков за апрель составило 40 мм и было неравномерно распределено по годам, предельные значения менялись от 40 мм (2020 г.) до 100 мм (2022 г.). В мае 2020, 2021 и 2022 гг. выпало осадков на 70, 11 и 5 мм выше, в 2023 и 2024 гг. меньше на 15 и 17 мм по сравнению со среднегодовыми данными. Изменение погодных условий наиболее существенно сказалось на урожайности ячменя в 2021 году. Температура воздуха в июне, июле и августе на 1,9°C, 2,4°C и 2,3°C превысила среднегодовой показатель, количество осадков сократилось в июле и августе на 66 мм и 11 мм. Для вегетационного периода 2023 г был характерен пониженный температурный режим: май (-0,9°C), июнь (-1,2°C), июль (-0,8°C) к среднегодовой. Осадки выпадали неравномерно, в апреле осадков выпало на 27 мм больше, в мае (-15 мм), июле (-17 мм) и августе (-60 мм) меньше к среднегодовой. В июле и августе 2020-2024 гг. наблюдалось наиболее существенное усиление засухливости, повлиявшее на налив зерна ярового ячменя. Так, количество выпавших осадков в 2020-2024 гг. было соответственно меньше на 22-66 мм и на 4-31 мм при среднегодовом показателе 27 и 40 мм. Погодные условия 2024 года сложились неблагоприятно для роста и развития растений ячменя (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты детерминации между суммой осадков, температурой воздуха и урожайностью зерна сортов ярового ячменя, 2020-2024 гг.

Сорт	Сумма осадков, мм						Температура воздуха, °С				
	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Σ апрель август	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август
Коэффициенты детерминации, r ²											
Суздалец	0,023	0,091	0,214	0,012	0,321	0,091	0,206	0,197	0,160	0,183	0,437
Надёжный	0,065	0,026	0,128	0,002	0,201	0,038	0,121	0,103	0,096	0,105	0,337
Яромир	0,061	0,148	0,499	0,024	0,679	0,032	0,350	0,302	0,199	0,187	0,477
Федос	0,796	0,086	0,167	0,168	0,247	0,008	0,052	0,052	0,003	0,001	0,004
Формат	0,169	0,231	0,404	0,345	0,901	0,074	0,242	0,274	0,092	0,127	0,252
Азимут	0,225	0,088	0,139	0,121	0,325	0,428	0,002	0,009	0,034	0,093	0,001
Таловский 9	0,018	0,004	0,226	0,090	0,070	0,149	0,013	0,001	0,001	0,009	0,066
Жемчужный	0,065	0,001	0,166	0,034	0,031	0,032	0,028	0,018	0,002	0,002	0,053

Температуры воздуха в июне, июле и августе были на +1,5°C, +2,5°C и +1,8°C, выше нормы, соответственно количество осадков выпало в мае на 17 мм, июле на 47 мм и августе на 28 мм меньше нормы, в июне ниже на 1 мм, что близко к норме. Наиболее благоприятными по количеству выпавших осадков за вегетационный период были 2020 г. (332 мм) и 2022 г. (306 мм). За 2021 и 2024 гг. сумма выпавших осадков за вегетационный период составила 274 мм и 213 мм.

С целью изучения зависимости между урожаями зерна сортов ярового ячменя и погодными условиями сравнивали данные урожайности с показателями месячных значений осадков, температуры воздуха в 2020-2024 гг. Оценка статистической обработки данных показала наличие существенной связи между урожайностью сортов ячменя Федос, Формат, Яромир и суммой осадков за апрель, июнь, август и сорта Азимут в целом за вегетационный период.

Наиболее высокое значение коэффициента детерминации между показателями «сумма осадков и урожайность по сортам» отмечалось за апрель $r^2=0,796$ у сорта Федос. В последующий период аналогичная высокая зависимость урожая зерна от осадков июня выявлена у сорта Яромир $r^2=0,499$ и от августовских осадков у сортов Яромир и Формат, коэффициенты детерминации были равны, $r^2=0,679$ и $r^2=0,901$. Оценка по показателю «температура воздуха –урожайность по вариантам опыта» выявила за август более высокую зависимость урожая зерна у сортов Суздалец и Яромир от среднесуточных температур, $r^2=0,437$ и $r^2=0,477$. Коэффициенты детерминации «температура воздуха- урожайность по сортам за май, июнь, июль не существенны и не позволяют использовать в полной мере данные показатели для оценки зависимости урожая зерна от погодных условий.

Урожайность сравниваемых сортов ярового ячменя в 2020-2024 гг. существенно варьировала от 2,8 т/га до 5,5 т/га (табл. 2).

Таблица 2

Урожайность зерна сортов ярового ячменя, т/га

Сорта	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем	К стандарту
Суздалец (St.)	3,7	2,8	3,6	5,4	3,6	3,8	-
Надёжный	4,8	4,1	4,6	5,5	4,6	4,7	+0,9
Яромир	4,1	3,9	4,6	5,4	4,0	4,4	+0,6
Федос	3,8	4,4	4,3	4,0	3,9	4,1	+0,3
Формат	3,6	4,3	4,2	5,3	3,6	4,2	+0,4
Азимут	4,2	3,9	4,5	4,3	3,4	4,1	+0,3
Таловский 9	4,0	3,1	4,2	4,6	3,2	3,8	-
Жемчужный	4,0	3,9	4,1	5,0	3,1	4,0	+0,2
НСР ₀₅	0,15	0,08	0,13	0,13	0,12		
Индекс условий среды (Ij)	-0,09	-0,35	0,12	0,79	-0,47	-	-

Наибольший (-2,6 т/га) интервал варьирования урожая от 2,8 т/га до 5,4 т/га отмечен у сорта Суздалец, наименьший (-0,6 т/га) у сорта Федос от 3,8 до 4,4 т/га. Благоприятные условия для роста и развития растений ячменя сложились в 2023 году ($I_j = +0,79$). Среди испытываемых сортов ярового ячменя самым высоким урожаем зерна – 5,5 т/га выделился сорт Надежный. Сорта ярового ячменя Федос, Азимут, Таловский 9 и Жемчужный по урожайности на 1,4, 1,1, 0,8 и 0,4 т/га достоверно уступали стандарту Суздалец (5,4 т/га). В менее благоприятных условиях 2021 года ($I_j = -0,35$) выявлен высокий потенциал урожайности у сортов Надежный, Яромир, Федос, Формат, Азимут и Жемчужный существенно превысившими на 1,1- 1,6 т/га прибавками урожая сорт Суздалец. В самом неблагоприятном 2024 г. ($I_j = -0,47$) сорт Суздалец достоверно уступал по урожайности зерна на 1,0 ,0,4 и 0,3 т/га сортам Надежный, Яромир и Федос. В 2020 году сорта ярового ячменя

Надежный, Яромир, Азимут, Таловский 9 и Жечужный превысили прибавкой урожая стандарт Суздалец на 1,1, 0,4, 0,5 и 0,3 т/га. Все сравниваемые сорта ярового ячменя в 2022 году превышали по урожайности на 0,5-1,0 т/га сорт Суздалец. Сорт Надежный существенно превышал по урожайности в 2020 г. на 1,2-0,6 т/га и 2024 г. 1,5-0,6 т/га сорта Суздалец, Яромир, Федос, Формат, Азимут, Таловский 9 и Жемчужный. Наиболее высокой средней урожайностью за 2020-2024 гг. годы выделился сорт Надежный (4,7 т/га); самая низкая урожайность была получена у сортов Суздалец и Таловский 9 (3,8 т/га). Урожайность сортов ярового ячменя Яромир, Федос, Формат, Азимут и Жемчужный в среднем за 5 лет в сравнении со стандартом Суздалец была выше, соответственно на 0,3-0,9 т/га.

Количественную оценку адаптивных свойств сортов ячменя по урожайности осуществляли разными показателями (табл. 3). Определенный по интервалу между минимальной и наибольшей урожайностью под влиянием контрастных погодных условий показатель стрессоустойчивости ($Y_{min}-Y_{max}$) имел отрицательные значения. Самое низкое его значение соответствовало высокой величине устойчивости сорта к контрастным условиям среды. Наиболее стрессоустойчив за 2020-2024 гг. был сорт ярового ячменя Федос (-0,6 т/га). Из сравниваемых сортов ярового ячменя необходимо выделить сорт Надежный с высоким уровнем средней пятилетней урожайностью зерна и средним показателем стрессоустойчивости (-1,4 т/га). Самой низкой стрессоустойчивостью с высоким показателем (-2,6 т/га) отличался стандартный сорт Суздалец. Низкой стрессоустойчивостью характеризовались сорта ярового ячменя: Жемчужный (-1,9 т/га), Формат (-1,7 т/га), Таловский 9 и Яромир (-1,5 т/га). Характеристику сортов по стрессоустойчивости дополняет показатель генетической гибкости $(Y_{min}+Y_{max})/2$, который определяет реакцию сорта на условия выращивания в контрастных условиях среды.

Таблица 3

Показатели стрессоустойчивости, генетической гибкости, гомеостатичности, пластичности и стабильности сортов ярового ячменя, 2020-2024 гг.

Сорта	$Y_{min}-Y_{max}$, т/га	$Y_{min} + Y_{max}/2$, т/га	КА	V, %	Hom	Sc	St ²	bi	Si ²	Σ рангов
Суздалец	-2,6	2,7	0,92	22	0,17	1,98	0,94	1,62	0,25	40
Надёжный	-1,4	2,8	1,13	10	0,47	3,52	0,99	0,76	0,09	30
Яромир	-1,5	2,7	1,06	13	0,34	3,18	0,98	1,12	0,02	39
Федос	-0,6	2,2	0,99	6	0,68	3,52	0,99	0,12	0,10	48
Формат	-1,7	2,7	1,01	15	0,28	2,85	0,97	1,11	0,17	31
Азимут	-1,1	2,3	0,99	9	0,46	3,52	0,99	0,50	0,13	44
Таловский 9	-1,5	2,3	0,94	15	0,25	2,57	0,97	1,10	0,10	51
Жемчужный	-1,9	2,6	0,96	15	0,27	3,04	0,97	1,18	0,08	43

Наибольшее значение соответствия между урожайностью и факторами среды отмечены у сорта Надежный (2,8 т/га). Сорта Суздалец, Яромир, Формат также имели соответственно равное высокое значение показателя генетической гибкости (2,7 т/га). Низким показателем генетической гибкости характеризовались сорта ярового ячменя Федос (2,2 т/га), Азимут и Таловский 9 (2,3 т/га). Коэффициент адаптивности (КА), рассчитанный по отношению урожайности каждого сорта к суммарной урожайности сортов, деленной на общее их количество, варьировал от 0,92 до 1,13. Наибольшее значение коэффициента адаптивности выше единицы среди испытываемых сортов отмечено у сорта Надежный (КА=1,13). Реакция сортов Яромир и Формат на условия среды была также выше (КА>1), КА= 1,06 и КА =1,01. Близким к (КА=1) характеризовались сорта ярового ячменя Федос и Азимут (КА =0,99). Коэффициент адаптивности (КА<1) имели сорта Суздалец (КА= 0,92), Таловский 9 (КА= 0,94). Коэффициент вариации – отношение стандартного отклонения к средней арифметической урожайности сорта, выраженное в % ($V\%=S/x \times 100$) изменялся по сортам от V=6% до V=22%. Сорт Суздалец отличался самым большим показателем колеблемости

урожая зерна ($V=22\%$). Наиболее низкому среди сравниваемых сортов варьированию урожайности зерна, ($V=6\%$) соответствовал сорт Федос. Сорта Азимут и Надежный характеризовались средней изменчивостью урожайности по годам, ($V=9\%$ и $=10\%$). Величина гомеостатичности (Hom) рассчитанная по отношению средней арифметической величины урожая сорта к коэффициенту вариации отображает способность сорта к меньшему снижению урожая при изменении условий возделывания. По результатам исследований установлены различия по гомеостатичности (Hom) между сортами. Более высокие величины (Hom) выявлены у сортов Федос ($Hom = 0,68$), Надежный ($Hom = 0,47$) и Азимут ($Hom = 0,46$). Самая низкая величина (Hom) отмечена у сорта Суздалец ($Hom = 0,17$). Селекционная ценность сорта, определенная по формуле: $Sc = X_{ср.} \times X_{lim}/X_{opt}$, где $X_{ср.}$ средняя урожайность по сорту; – X_{lim} урожайность лимитированная; – X_{opt} урожайность оптимальная показала, что сорта с высоким показателем гомеостатичности имели высокую величину Sc . Наибольшая величина $Sc=3,52$ определена у сортов Надежный, Федос и Азимут, наименьшая – 1,98 у сорта Суздалец. Определение показателя относительной стабильности ($St^2 = X^2 - S^2/X^2$, где X – средний урожай сорта, S^2 – общая дисперсия урожаев данного сорта) показало среди сравниваемых сортов высокие величины относительной стабильности формирования урожая у сортов Надежный, Федос и Азимут ($St^2=0,99$). Стандартный сорт Суздалец характеризовался самой низкой величиной относительной стабильности $St^2 = 0,94$. Информативными количественными показателями адаптивных свойств сортов по урожайности являются параметры экологической пластичности (b_i) и стабильности (S_i^2). По результатам проведенного анализа выделены сорта ярового ячменя Суздалец, $b_i=1,62$), Яромир, $b_i=1,12$), Формат, $b_i=1,11$), Таловский 9, $b_i=1,10$) и Жемчужный $b_i=1,18$) с высокой отзывчивостью на благоприятные условия роста и развития. В меньшей степени реагировали на изменения условий внешней среды ($b_i < 1$) по урожайности сорта Федос и Азимут ($b_i=0,12$) и ($b_i=0,50$), которые лучше использовать на экстенсивном фоне. Сорт Надежный, с коэффициентом регрессии, $b_i=0,76$ был ближе к единице ($b_i=1$) и соответствовал изменению урожайности сорта изменению условий среды. Дисперсия (S_i^2) характеризует стабильность сорта, уровень отклонения его урожая в исследуемый год от средней урожайности за все годы в различных условиях выращивания. Чем меньше данный показатель, тем более стабильно сорт формирует урожай. Наибольшей стабильностью реакции на условия среды характеризовались сорта с наименьшими значениями ($S_i^2 < 1$) Яромир ($S_i^2=0,02$), Жемчужный ($S_i^2=0,08$) и Надежный ($S_i^2 = 0,09$). Наименьшим показателем стабильности в изменяющихся погодных условиях возделывания отличался сорт Суздалец ($S_i^2 = 0,25$). При ранговой оценке с меньшим числовым значением суммы (\sum рангов=30) сорт ячменя Надежный был наиболее адаптирован к условиям Орловской области.

Анализ матрицы коэффициентов корреляции позволил установить взаимосвязь между урожайностью сортов ярового ячменя и показателями адаптивных свойств, выделить значимые информативные показатели с наибольшим количеством достоверных корреляционных связей (табл. 4).

Величины показателей КА, $Y_{min}-Y_{max}$, V , %, Hom , Sc , St^2 , b_i , достоверно взаимосвязаны и могут быть использованы в качестве критериев оценки адаптивных свойств сравниваемых сортов ячменя. Корреляционные парные зависимости и взаимосвязи между урожайностью и показателями адаптивных свойств имели отрицательную и положительную линейную связь различной тесноты, изменяющуюся в пределах от $r = -0,246$ до $r = -0,968$ от $r = 0,106$ до $r = 0,994$. Наиболее достоверно урожайность сортов коррелировала с коэффициентом адаптации (КА), $r = 0,994$, что подтверждалось зависимостью отношения величины урожайности сорта к среднесортowej в различных погодных условиях вегетации.

Зависимость урожайности от показателей селекционной ценности (Sc), $r = 0,671$, относительной стабильности (St^2), $r = 0,630$ отмечалась в виде тенденции. Связь между урожайностью и $Y_{min}-Y_{max}$, $Y_{min} + Y_{max}/2$, V , b_i и S_i^2 статистически недостоверна.

Корреляционная матрица парных связей между урожайностью и адаптивностью у сортов ярового ячменя

Показатели	Урожайность, т/га	Ymin-Ymax, т/га	Ymin + Ymax/2, т/га	КА	V, %	Hom	Sc	St ²	bi
Коэффициент корреляции, r									
Ymin-Ymax	0,342								
Ymin + Ymax/2	0,485	-0,641							
КА	0,994*	0,367	0,451						
V, %	-0,498	-0,968*	0,498	-0,508					
Hom	0,432	0,901*	-0,486	0,430	-0,938*				
Sc	0,671	0,839	-0,246	0,662	-0,941*	0,832			
St ²	0,630	0,906*	-0,345	0,646	-0,961*	0,821	0,970*		
bi	-0,319	-0,957*	0,634	-0,326	0,965*	-0,964*	-0,840	-0,863	
Si ²	-0,493	-0,554	0,106	-0,519	0,574	-0,377	-0,656	-0,692	0,376

*r коэффициенты корреляции значимы, P =95%

Определенный интерес представляют взаимосвязи показателей адаптивных свойств между собой. Наибольшей информативностью с достоверными двумя отрицательными и двумя положительными корреляционными зависимостями отвечал показатель устойчивости к стрессу (Ymin-Ymax). Отрицательная корреляционная зависимость статистически достоверна между (Ymin-Ymax) и коэффициентом вариации (V, %), $r = -0,968$ и коэффициентом регрессии (bi), $r = -0,957$, положительная между (Ymin-Ymax) и гомеостатичностью (Hom), $r = 0,901$, показателем относительной стабильности (St²), $r = 0,906$. Между коэффициентом вариации (V, %) и показателями гомеостатичности (Hom), $r = -0,938$, селекционной ценности (Sc), $r = -0,941$, относительной стабильности (St²), $r = 0,961$ отрицательная корреляционная связь также статистически достоверна. Линейная положительная парная связь между V, % и коэффициентом регрессии (bi), $r = 0,965$ статистически значима. Меньшей информативностью по убыванию количества достоверных корреляционных связей отвечали показатели гомеостатичности (Hom) и селекционной ценности (Sc). Показатель гомеостатичности (Hom) и коэффициент линейной регрессии (bi) с отрицательной корреляционной связью существенно коррелировали между собой, $r = -0,964$. Два показателя – селекционной ценности (Sc и относительной стабильности (St²), $r = 0,970$) достоверно положительно взаимно коррелировали между собой. Следует отметить, что парная корреляция между коэффициентом регрессии (bi) и показателем стабильности (Si²) незначительна, $r = 0,376$, поскольку среди испытываемых нет сортов, которые одновременно совмещали высокие показатели пластичности и стабильности.

Заключение

Наиболее высокое значение коэффициента детерминации между показателями «сумма осадков и урожайность по сортам» отмечалось за апрель $r^2 = 0,796$ у сорта Федос и от осадков июня у сорта Яромир $r^2 = 0,499$ и от августовских осадков у сортов Яромир и Формат, $r^2 = 0,679$ и $r^2 = 0,901$. Самой высокой средней пятилетней урожайностью выделился сорт – Надежный (4,7 т/га); самой низкой сорта Суздалец и Таловский 9 (3,8 т/га). Урожайность сортов ярового ячменя Яромир, Федос, Формат, Азимут и Жемчужный в среднем за 5 лет в сравнении с стандартным (Суздалец) была, соответственно выше на 0,3-0,9 т/га. Из сравниваемых сортов ярового ячменя самыми низкими показателями: стрессоустойчивости (Ymin-Ymax = -2,6

т/га), коэффициентом адаптации ($KA = 0,92$), гомеостатичностью ($Hom = 0,17$), селекционной ценности ($Sc = 1,98$), относительной стабильности ($St^2 = 0,94$) и самой высокой величиной варьирования урожая по годам – коэффициентом вариации ($V = 22\%$), характеризовался сорт Суздалец. Сорт ярового ячменя Надежный в 2020-2024 гг. обладал наибольшими значениями показателей – генетической гибкости (2,8 т/га), коэффициенту адаптивности ($KA = 1,13$) и соответствовал оптимальному сочетанию параметров пластичности и стабильности с $bi = 0,76$ и $Si^2 = 0,09$. По сумме рангов ($\sum \text{рангов} = 30$) сорт ячменя Надежный был наиболее адаптированный к условиям Орловской области. Анализ корреляционной матрицы позволил выявить достоверно высокие парные корреляции между урожайностью сортов и коэффициентом адаптации (KA), $r = 0,994$. Отрицательные корреляционные зависимости статистически достоверны между ($Y_{min} - Y_{max}$) и коэффициентом вариации ($V, \%$), $r = -0,968$ и коэффициентом регрессии (bi), $r = -0,957$, положительные между ($Y_{min} - Y_{max}$) и гомеостатичностью (Hom), $r = 0,901$, показателем относительной стабильности (St^2), $r = 0,906$. Между коэффициентом вариации ($V, \%$) и гомеостатичностью (Hom), $r = -0,938$, селекционной ценностью (Sc), $r = -0,941$, относительной стабильностью (St^2), $r = 0,961$ и коэффициентом регрессии (bi), $r = 0,964$ отрицательные и положительная корреляционные связи статистически значимы.

Литература

1. Попов Ф.А., Козлова Л.М., Носкова Е.Н., Светлакова Е.В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2021. – №2. – С. 254-263. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263.
2. Щенникова И.Н., Панихина Л.В. Влияние засухи на развитие элементов структуры урожайности сортов ярового ячменя // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2024. – №1 (3). – С. 111-121. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-3-111-121.
3. Косых Л.А., Столпивская Е.В., Никонорова Ю.Ю. Влияние погодных условий на хозяйственно ценные признаки сортов ячменя ярового в лесостепной зоне Среднего Поволжья. // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 1. – С. 31-38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38.
4. Филенко Г.А., Васильченко С.А., Донцов Д.П. Продуктивность сорта ярового ячменя Леон в зависимости от метеусловий в Южной зоне Ростовской области. // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 1 (49). – С. 43-49.
5. Анисимова Н.Н., Ионова Е.В. Элементы структуры урожая сортов ярового ячменя и их вклад в формирование высокой продуктивности растений. // Зерновое хозяйство России. – 2016. – № 5. – С. 40-43.
6. Байкалова Л.П., Серебренников Ю.И. Оценка адаптивного потенциала сортов ячменя в Канской лесостепи. // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 10. – С. 93-97.
7. Максимов Р.А., Киселёв Ю.А. Сравнительная оценка адаптивности и стабильности сорта ячменя Памяти Чепелева. // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 6. – С. 33-36. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10608
8. Бакулина, А.В., Широких И.Г. Подходы к повышению продуктивности и адаптивности ячменя с помощью технологий генетической модификации. // Аграрная наука Евро-Северо Востока. – 2019. – Т. 20, №
9. Левакова О.В., Ерошенко Л.М., Ерошенко А. Н. и др. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 3. – С. 30-33. DOI: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33
10. Ерошенко Л.М., Ромахин М.М., Ерошенко Н.А., Дедушев И.А., Ромахина В.В., Болдырев М. А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостабильность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2022. – Т. 183. – № 1. – С. 38-47. DOI: 10.30901/2227-8834-2022-1-38-47.
11. Новикова А.А., Гречишкина О.С., Емельянова А.А., Пустовалова А.А., Замерзляк М.В. Параметры адаптивности и гомеостатичности ярового ячменя в условиях Оренбургской области. // Земледелие. – 2022. – № 8. – С. 35-38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38.
12. Брагин Р.Н., Филиппов Е.Г. Оценка показателей адаптивности сортов ярового ячменя по урожайности в условиях изменчивости природной среды. // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. - № 3. С. 18-24. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24

13. Николаев П.Н., Юсова О.А., Аниськов Н.И., Сафонова И.В. Продуктивность и стрессоустойчивость сортов ярового ячменя Омской селекции в условиях Южной лесостепи западной Сибири. // Зерновое хозяйство России. – 2022. – Т.14. – № 2. – С. 24-28. DOI: 10.31367/2079-8725-80-2-24-28.
14. Блохин В.И., Никифорова И.Ю., Ганиева И.С., Ланочкина М.А., Малафеева Ю.В., Дюрбин Д.С. Элементы структуры урожая и продуктивность зерна сортов ярового ячменя. // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2023. – № 4 (48). – С. 123-130. DOI: 10.24412/2309-348X-2023-4-123-130.

References

1. Popov F.A., Kozlova L.M., Noskova E.N., Svetlakova E.V. Efficiency of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2021, no.2, pp. 254-263. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263.
2. Shchennikova I.N., Panikhina L.V. The influence of drought on the development of yield structure elements of spring barley varieties. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*. 2024, no.1 (3), pp. 111-121. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-3-111-121.
3. Kosykh L.A., Stolpivskaya E.V., Nikonorova Yu.Yu. The influence of weather conditions on economically valuable traits of spring barley varieties in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Vestnik KrasGAU*, 2022, no. 1, pp. 31-38. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-1-31-38.
4. Filenko G.A., Vasil'chenko S.A., Dontsov D.P. Productivity of spring barley variety Leon depending on weather conditions in the Southern zone of Rostov region. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2017, no. 1 (49), pp. 43-49.
5. Anisimova N.N., Ionova E.V. Elements of the yield structure of spring barley varieties and their contribution to the formation of high plant productivity. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2016, no. 5, pp. 40-43.
6. Baikalova L.P., Serebrennikov Yu.I. Evaluation of the adaptive potential of barley varieties in the Kansk forest-steppe. *Vestnik KrasGAU*, 2014, no. 10, pp. 93-97.
7. Maksimov R.A., Kiselev Yu.A. Comparative assessment of the adaptability and stability of the barley variety Pamyati Chepeleva. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2019, v. 33, no. 6, pp. 33-36. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10608
8. Bakulina A.V., Shirokikh I.G. Approaches to increasing productivity and adaptability of barley using genetic modification technologies. *Agrarnaya nauka Evro-Severo Vostoka*, 2019, v. 20, no.1
9. Levakova O.V., Eroshenko L.M., Eroshenko A.N. et al. Evaluation of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal*, 2021, no. 3, pp. 30-33. doi: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33
10. Eroshenko L.M., Romakhin M.M., Eroshenko N.A. et al. Urozhainost', plastichnost', stabil'nost' i gomeostabil'nost' sortov yarovogo yachmenya v usloviyakh Nechernozemnoi zony. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii*, 2022, v. 183, no. 1, pp. 38-47. doi:10.30901/2227-8834-2022-1-38-47.
11. Novikova A.A., Grechishkina O.S., Emel'yanova A.A., Pustovalova A.A., Zamerzlyak M.V. Parameters of adaptability and homeostasis of spring barley in the conditions of the Orenburg region. *Zemledelie*, 2022, no. 8, pp. 35-38. DOI: 10.24412/0044-3913-2022-8-35-38.
12. Bragin R. N., Filippov E. G. Evaluation of the adaptability indicators of spring barley varieties for yield in conditions of environmental variability. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2022, v. 14, no. 3, pp. 18-24. DOI: 10.31367/2079-8725-2022-81-3-18-24
13. Nikolaev P.N., Yusova O.A., Anis'kov N.I., Safonova I.V. Productivity and stress resistance of spring barley varieties of Omsk selection in the conditions of the Southern forest-steppe of Western Siberia. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*, 2022, v.14, no. 2, pp. 24-28. doi:10.31367/2079-8725-80-2-24-28.
14. Blokhin V.I., Nikiforova I.Yu., Ganieva I.S., Lanochkina M.A., Malafeeva Yu.V., Dyurbin D. S. Elementy struktury urozhaya i produktivnost' zerna sortov yarovogo yachmenya. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury*, 2023, no. 4(48), pp. 123-130. DOI:10.24412/2309-348X-2023-4-123-130.