

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 4. С. 324-336.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 4. P. 324-336.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 633.11:631.559(470.56)
doi:10.33284/2658-3135-107-4-324

Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях
Оренбургского Предуралья

Ишен Насанович Бесалиев¹, Сергей Иванович Мироненко²

¹²Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9389-1938>

²mir.s.i.63@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9916-2662>

Аннотация. Статья содержит анализ распространённости посевов яровой твёрдой пшеницы в мире и в Оренбургской области, её урожайности за длительный период времени. Отмечается тенденция к снижению продуктивности данной культуры за изученный промежуток времени, обусловленная в первую очередь нарастанием засушливости периода вегетации. Приводятся результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости её урожайности от основных погодных показателей с выявлением при этом их оптимальных значений для формирования высокопродуктивных посевов данной культуры. При анализе полученных зависимостей акцентируется внимание на напряжённость условий вегетации яровой твёрдой пшеницы за последние годы в засушливой зоне, которые не позволяют реализовать её потенциальные возможности. Рассчитанные коэффициенты связи урожайности данной культуры от погодных факторов показывают достоверные зависимости от температурного режима мая, июля, количества осадков мая и относительной влажности всего периода вегетации. Представлены результаты математической зависимости показателей качества зерна твёрдой пшеницы от погодных характеристик периода вегетации. При этом оптимальные значения температуры воздуха в мае составили +13,4 °С, в июне – +15,0 °С, в июле – +23,3 °С, по сумме осадков оптимальное количество по месяцам вегетации составило в мае и июне по 30 мм и в июле – 36 мм. Вышеуказанным оптимальным значениям погодных факторов мая соответствовала теоретическая урожайность твёрдой пшеницы до 30,0 ц с 1 га, оптимальным значениям июня – 22,6 ц с 1 га и оптимальным значениям июля – 18,9 ц с 1 га. Коэффициенты корреляций и фактические данные по качественным показателям зерна позволяют отметить их значительную изменчивость от условий периода вегетации и сортовую специфичность. Высокая связь ($r=0,827-0,926$) установлена для изученных показателей качества зерна со средней относительной влажностью воздуха и со среднесуточным дефицитом влажности воздуха. Средняя связь ($r=0,635-0,745$) получена для средней температуры воздуха, максимальной температуры воздуха и среднесуточного дефицита влажности воздуха. Качество зерна подвержено изменчивости от условий периода вегетации: в урожайные годы наблюдается повышение стекловидности зерна до 92-93 %, а в годы с ростом температурного режима воздуха отмечается улучшение качества клейковины до уровня II класса.

Ключевые слова: зерновые культуры, яровая твёрдая пшеница, температура воздуха, относительная влажность воздуха, урожайность, качество зерна, Оренбургское Предуралье

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2022-2026 гг. ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ FNWZ-2022-0014).

Для цитирования: Бесалиев И.Н., Мироненко С.И. Урожайность и качество зерна яровой твёрдой пшеницы в условиях Оренбургского Предуралья // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107. № 4. С. 324-336. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-324>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals**Ishen N Besaliev¹, Sergey I Mironenko²**¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia¹orniish_tzk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9389-1938>²mir.s.i.63@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9916-2662>

Abstract. The article contains an analysis of the prevalence of spring durum wheat crops in the world and in the Orenburg region, and yields over a long period. There is a tendency to decrease the productivity of this crop over the studied period, primarily due to the increasing aridity of the growing season. The results of a correlation and regression analysis of the dependence of its yield on the main weather indicators are presented, while identifying their optimal values for the formation of highly productive crops of this crop. Analyzing the obtained dependencies, attention is focused on the intensity of the growing conditions of spring durum wheat in recent years in the arid zone, which do not allow realizing the potential of this crop. The calculated coefficients of the relationship between the yield of this crop and weather factors show reliable dependences on the temperature regime of May, July, the amount of precipitation in May and the relative humidity of the entire growing season. The results of the mathematical dependence of durum wheat grain quality indicators on the weather characteristics of the growing season are presented. At the same time, the optimal air temperature values in May were 13.4 °C, in June 15.0 °C, in July 23.3 °C, according to the amount of precipitation, the optimal amount for the months of vegetation was 30 mm in May and June and 36 mm in July. The above-mentioned optimal values of weather factors in May corresponded to the theoretical yield of durum wheat up to 30.0 c from 1 ha, the optimal values in June - 22.6 c from 1 ha and the optimal values in July – 18.9 c from 1 ha. Correlation coefficients and actual data on grain quality indicators allow us to note their significant variability from the conditions of the growing season and varietal specificity. A high correlation ($r = 0,827-0,926$) was established for the studied grain quality indicators with average relative humidity and with an average daily humidity deficit. The average relationship ($r = 0.635-0.745$) was obtained for the average air temperature, maximum air temperature and average daily humidity deficit. Grain quality is subject to variability from the conditions of the growing season: in harvest years, there is an increase in the vitreous content of grain to 92-93%, and in years with an increase in the temperature regime of the air, there is an improvement in the quality of gluten to the level of class II.

Keywords: grain crops, spring durum wheat, air temperature, relative air humidity, yield, grain quality, Orenburg Cis-Urals

Acknowledgements: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2022-2026 FSBRI FRC BST RAS (No. FNWZ-2022-0014).

For quoting: Besaliev IN, Mironenko SI. Yield and grain quality of spring durum wheat in the conditions of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024;107(4):324-336. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-324>

Введение.

Яровая твёрдая пшеница является одной из важнейших яровых зерновых культур, возделываемых человеком, так как её зерно используется в питании значительного населения мира. По данным анализа (Гончаров С.В. и Курашов М.Ю., 2018), в мире посевные площади данной культуры варьируют в пределах 12-15 млн га, а производство зерна составляет 37-40 млн т, в то время как в России суммарное производство составляет 650-700 тыс. т, или около 2 % от общемирового.

В Оренбургской области производится основная часть зерна (около 300 тыс. т валового сбора) данной культуры, высеваемой в России (Гончаров С.В. и Курашов М.Ю., 2018). За период 2010-2023 гг. её средняя ежегодная площадь посевов составила 251 тыс. гектаров со средней урожайностью 10,0 ц с 1 га (Ежегодные данные пресс-релиза Министерства сельского хозяйства Орен-

бургской области за 2010-2023 гг.). При этом следует заметить, что в 1966-1970 гг. в Оренбуржье площадь посевов данной культуры в среднем составляла 911 тыс. га, а в 1968 году превышала 1 млн га, затем наблюдалось сокращение её посевов до 150-230 тыс. га (Крючков А.Г. и др., 2008).

Рост засушливости климата становится основным трендом климатических изменений в глобальном масштабе и абиотические стрессы, в том числе засуха, являются основными ограничениями в растениеводстве (Rane J et al., 2021). Потери продукции от абиотических стрессов могут превышать 40 % (Bailey-Serres J et al., 2019).

Яровая твёрдая пшеница в этом плане является наиболее проблемной культурой в силу своей морфологии. Снижение урожайности, а также показателей фотосинтеза у генотипов твёрдой пшеницы, по оценке специалистов (Igbal J, 2019; Nardino M et al., 2022), обусловлены механизмом защиты от засухи и выработкой специализированных соединений (пролин). Исследованиями установлено (Besaliev IN et al., 2021), что содержание аминокислоты пролин в зерне яровой пшеницы следует рассматривать как сигнальную функцию при стрессовых условиях вегетации. Показано (Lan Y et al., 2022), что устойчивость к ранней засухе определяет биомасса корней, масса зерна и число колосков на растении пшеницы, в то время как к поздней засухе – масса 1000 зёрен и площадь флагового листа. Раннее формирование сильной корневой системы следует рассматривать как важный элемент устойчивости к засухе. Устойчивости к засухе способствует глубина проникновения корневой системы, оптимальная плотность корневой системы и диаметр ксилемы (Chaopan Li et al., 2021; Maqbool S et al., 2022). Существенное нарастание температурного прессинга на фоне дефицита воды является серьёзной проблемой для урожайности. Так, по оценке Розовой М.А. с коллегами (2021), на урожайность твёрдой пшеницы наибольшее влияние оказывает среднесуточная температура воздуха на 2-5 день и на 22-32 день после колошения, а также важно сочетание стабильности показателей продуктивности с высокой водоудерживающей способностью растений (Тимошенкова Т.А., 2023) и увеличение продолжительности вегетации (Беляев А.Ю. и др., 2023).

О влиянии окружающей среды на урожайность и качество зерна пшеницы можно судить по данным исследований с применением мета-анализа из 48 опубликованных работ 15 стран мира (Wan C et al., 2022), из которых следует, что засуха значительно (на 57,32 %) снижает урожайность и уменьшает выход белка в зерне (на 46,04 %), но при этом увеличивает в зерне содержание белка (на 9,38 %) и содержание азота (на 9,27 %). Снижение урожайности от продолжительного стресса от засухи в течение всего периода вегетации (83,60 %) значительно выше, чем от термальной засухи (26,43 %), которая представляет засуху после цветения. Кроме факторов окружающей среды на урожайность и качество урожая существенное влияние оказывает внесение удобрений, в частности, азота (Sinda Ben Mariem et al., 2020; Dolianovic Z et al., 2019). При этом установлено, что на качество зерна оказывает значительное влияние внесение азотных удобрений от цветения до созревания. Таким образом, кроме отрицательного влияния на продуктивность яровой твёрдой пшеницы засушливость периода вегетации в значительной мере отражается на показателях качества зерна.

Цель исследования.

Анализ урожайности и показателей качества зерна яровой твёрдой пшеницы и их взаимосвязи с погодными факторами периода вегетации в Оренбургском Предуралье.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Средние данные по урожайности сортов яровой твёрдой пшеницы, полученные в многолетних полевых опытах данной культуры по экологическому испытанию сортов.

Характеристика территорий и природно-климатические условия. Участок проведения полевых исследований расположен в центральной зоне Оренбургской области (Россия), в п. Нежинка Оренбургского района с координатами: долгота – 51°77'34,5", широта – 55°32'13,02". Средняя годовая температура воздуха составляет 3 °С. Среднегодовое количество осадков – 300-350 мм. Почва опытного участка – чернозём южный карбонатный малогумусный, тяжелосуглинистый. В слое 0 – 30 см почвы содержится: гумуса 4,0-4,5 %, легкогидролизуемого азота – 7,5- 8,5 мг на 100 г почвы, подвижного фосфора (P_2O_5) – 3,3-3,5 мг на 100 г почвы, обменного калия (K_2O) – 23-28 мг на 100 г почвы и обменного кальция – 25,4-29,5 мг-экв /100 г почвы. Реакция почвы pH – 7,6-8,0.

Схема эксперимента. Сорта яровой твёрдой пшеницы высевались в опыте по экологическому испытанию с 1991 по 2023 годы. Весной проводились покровное боронование, предпосевная культивация, посев и послепосевное прикатывание. Высевались сорта Оренбургская 10, Оренбургская 21, Безенчукская 182, Безенчукская 210, Харьковская 46, Светлана, Краснокутка 10, Безенчукская степная. Норма высева – 4,0 млн всхожих семян на га. Повторность опыта – трёхкратная. Площадь делянки – 66,0 м² (1,65 м×40 м).

Оборудование и технические средства. Исследования по качеству зерна выполнены в ЦКП БСТ РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>) с применением весов ВЛ 124В (Россия), измерителя клейковины ИДК-3М (Россия), диафоноскопа «Янтарь» (Россия) с использованием современных методик. Для проведения эксперимента были использованы тракторы МТЗ-1221 (Беларусь), Т-25 (Россия), селекционные сеялки: СН-16 (Россия, Московская область) и СС-11 Альфа (Россия, Омсктехмаш), комбайны Сампо-500 (Sampo-Rosenlew, Финляндия) и Террион-Sampo SR2010 (Агротехмаш, Россия).

Статистическая обработка. Обработка массива экспериментальных данных была проведена методом однофакторного нелинейного корреляционно-регрессионного анализа (Фёрстер Э. и Рёнци Б., 1983) с использованием библиотеки из 34 алгебраических функций, включающих в себя в том числе: полиномиальные функции и показательные функции. Суть этого метода заключается в минимизации суммы квадратов отклонений между найденными в опыте значениями параметров оптимизации и предсказываемыми данной моделью.

Результаты исследований.

В отделе технологии зерновых и кормовых культур ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН в условиях Оренбургского Предуралья опыты с сортами яровой пшеницы, в том числе с сортами твёрдой пшеницы проводятся в течение длительного времени, с 1991 года. Анализируя данные по урожайности твёрдой пшеницы в эти годы, получили следующие результаты. Средняя урожайность твёрдой пшеницы за 32 года составила 11,7 ц с 1 га. В первые 5 лет (1991-1995 гг.) она составила 16,1 ц с 1 га, причём за 1991-1994 гг. средняя урожайность была 19,3 ц с 1 га, а в 1995 году при сильной засухе она составила 3,5 ц с 1 га. В 1996-2000 гг. урожайность была в среднем 14,9 ц с 1 га с максимумом 27,3 ц с 1 га в 2000 году и минимумом 4,3 ц с 1 га в 1998 г. Следующие пять лет были преимущественно засушливыми и средняя урожайность в 7,5 ц с 1 га их отражает: минимум урожайности составил 3,0 ц с 1 га, а максимум – 14,3 ц с 1 га. За период с 2007 по 2011 гг. урожайность твёрдой пшеницы была в среднем 14,3 ц с 1 га, но в данном интервале лет в 2010 урожай практически отсутствовал (1,1 ц с 1 га). В 2012-2016 гг. два года (2012 и 2014 гг.) были неурожайными, остальные годы – с низкой урожайностью, и в целом в это пятилетие средняя урожайность твёрдой пшеницы была 7,0 ц с 1 га, самой низкой за рассматриваемые промежутки времени. За период с 2017 по 2021 гг. последний год был неурожайным, а 2017 год – максимально продуктивным, что в целом дало среднюю величину урожайности данной культуры 13,8 ц с 1 га. За два последних года (2022 и 2023) средняя урожайность твёрдой пшеницы составила 8,8 ц с 1 га.

Таким образом, ретроспективный анализ урожайности твёрдой пшеницы в условиях центральной зоны Оренбургской области характеризует в целом её снижение. Объективно это объясняется изменениями погодных условий внутри рассматриваемых периодов. С началом нового тысячелетия количество засушливых и резко засушливых лет возрастает: если в первые 10 лет (1991-2000 гг.) число лет с высокой степенью засухи составило 20,0 %, то в следующее десятилетие (2001-2010) оно составило 40,0 % и за последующие 10 лет (2011-2020) – также 40,0 %. При этом с началом рассматриваемого периода последовательно снижается количество лет с урожайностью, превышающей среднюю урожайность твёрдой пшеницы в среднем за 32 года. Таким образом, налицо возрастание засушливости периода вегетации, которое требует изучения реакции на возникающие при этом вопросы адаптации культуры твёрдой пшеницы.

Нами рассчитаны корреляционно-регрессионные зависимости урожайности яровой твёрдой пшеницы с основными погодными показателями за май, июнь и июль месяцы в изучаемой зоне.

Результаты представлены в виде таблиц, где отражены основные параметры изученных признаков, коэффициент вариации, коэффициент корреляции, коэффициент детерминации. Приведены формулы расчётов уравнений полученных связей с отражением их соответствия критериям Фишера.

В мае основное влияние на формирование продуктивности яровой пшеницы оказывает температура воздуха, сумма осадков и среднесуточный дефицит влажности воздуха (табл. 1). Оптимальной является средняя температура воздуха в пределах $+13,4 \pm 1,20$ °C при сумме осадков 30 ± 5 мм с относительной влажностью воздуха 65 %. При таких параметрах погодных факторов за май урожайность твёрдой пшеницы теоретически может составить 25-30 ц с 1 га.

Таблица 1. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от погодных факторов за май
Table 1. Dependence of the yield of spring durum wheat on weather factors in May

Коррелируемые величины / <i>Correlated values</i>	Параметры величин ($M \pm G$) / <i>The parameters of the values ($M \pm G$)</i>	v, %	η_{yx} /	F	
				факт/ <i>fact</i>	теор./ <i>theory</i>
1. Средняя температура воздуха, °C(x_1) / <i>Average air temperature, °C (x_1)</i>	$12,2 - 19,0$ $1,5 \pm 1,8$	10,6	-	-	-
2. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_1) / <i>Grain yield, kg per 1 ha, (y_1)</i>	$1,0 - 19,2$ $11,2 \pm 6,2$	54,1	0,980	22,1	3,78
$y_1 = -95,627 + 17,145 \cdot x_1 - 0,639 \cdot x_1$, ц с 1 га, для 96,10 % случаев / $y_1 = -95,627 + 17,145 \cdot x_1 - 0,639 \cdot x_1$, c from 1 ha, for 96.10% of cases					
Максимальная температура воздуха, °C(x_2) / <i>Maximum air temperature, °C (x_2)</i>	$27,0 - 35,0$ $31,8 \pm 2,7$	8,4	-	-	-
3. Урожайность, ц с 1 га, (y_2) / <i>Grain yield, kg per 1 ha, (y_2)</i>	$8,1 - 19,3$ $11,7 \pm 4,1$	35,5	0,959	10,9	3,78
$y_2 = 208,624 - 11,392 \cdot x_2 + 0,162 \cdot x_2$, ц с 1 га, для 92,06 % случаев / $y_2 = 208,624 - 11,392 \cdot x_2 + 0,162 \cdot x_2$, c from 1 ha, for 92.06% of cases					
4. Осадки, мм, (x_3) / <i>Precipitation, mm, (x_3)</i>	$1,00 - 127,0$ $36,8 \pm 29,6$	80,6	-	-	-
Урожайность, ц с 1 га, (y_3) / <i>Grain yield, kg per 1 ha, (y_3)</i>	$4,0 - 18,3$ $11,6 \pm 5,1$	44,1	0,844	3,03	2,51
$y_3 = 2,515 = 0,3801 \cdot x_3 - 2,2419 \cdot x_3$, ц с 1 га, 71,38 % для случаев / $y_3 = 2,515 = 0,3801 \cdot x_3 - 2,2419 \cdot x_3$, c from 1 ha, for 71.38% of cases					
5.. Среднесуточный дефицит влажности воздуха, гПа (x_4) / <i>Average daily air humidity deficit, hPa(x_4)</i>	$2,0 - 14,0$ $9,9 \pm 3,3$	33,0	-	-	-
Урожайность, ц с 1 га, (y_4) / <i>Grain yield, kg per 1 ha, (y_4)</i>	$4,4 - 20,5$ $11,3 \pm 5,6$	49,3	0,910	5,06	2,51
$y_4 = -6,3797 + 5,8045 \cdot x_4 - 0,3676 \cdot x_4$, ц с 1 га, 82,88 % для случаев / $y_4 = -6,3797 + 5,8045 \cdot x_4 - 0,3676 \cdot x_4$, c from 1 ha, for 82.88 % of cases					

Основные зависимости урожайности твёрдой пшеницы обнаруживаются с параметрами погодных факторов июня с высокими коэффициентами корреляций и детерминаций (табл. 2). Оптимальные значения этого месяца по средней температуре воздуха составляют $+15$ °C при максимальных – не более $+31$ °C, с осадками – до 30 мм, относительной влажностью воздуха – 65 % и дефиците влажности воздуха – не более 8 гПа. Эти показатели соответствуют максимальной теоретической урожайности данной культуры 22,6 ц с 1 га.

Таблица 2. Зависимость урожайности яровой твёрдой пшеницы от погодных факторов за июнь

Table 2. Dependence of the yield of spring durum wheat on weather factors in June

Коррелируемые величины/ Correlated values	Параметры величин (M±G) / The parameters of the values (M±G)	v, %	η_{yx} /	F	
				факт. /fact	теор./ theory
1. Средняя температура воздуха, °C (x_1) / Average air temperature, °C (x_1)	$\frac{15,0-24,8}{20,5 \pm 2,6}$	12,6	-	-	-
2. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_1) / Grain yield, kg per 1 ha, (x_1)	$\frac{1,5-20,5}{11,4 \pm 5,9}$	51,8	0,879	4,11	3,63
$Y_1 = 52,724 - 2,011 \cdot x_1 \pm 2,91$ ц с 1 га, для 77,30 % случаев / $Y_1 = 5.724 - 2.011 \cdot x_1 \pm 2.91$, c from 1 ha, for 77.30% of cases					
3. Максимальная температура воздуха, °C (x_2) / Maximum air temperature, °C (x_2)	$\frac{31-40}{35,9 \pm 2,5}$	7,0	-	-	-
4. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_2) / Grain yield, kg per 1 ha, (y_2)	$\frac{2,26-19,18}{11,62 \pm 5,41}$	46,6	0,965	13,62	3,63
$Y_2 = 86,578 - 2,08929 \cdot x_2 \pm 1,47$ ц с 1 га, для 93,15 % случаев / $Y_2 = 86.578 - 2.08929 \cdot x_2 \pm 1.47$, c from 1 ha, for 93.15% of cases					
5. Осадки, мм (x_3) / Precipitation, mm, (x_3)	$\frac{1,0-42,0}{24,9 \pm 12,2}$	49,2	-	-	-
6. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_3) / Grain yield, kg per 1 ha, (y_3)	$\frac{2,1-19,1}{11,2 \pm 4,2}$	37,4	0,843	2,99	2,51
$Y_3 = -0,202510 + 0,955604 \cdot x_3 - 1,628382E-02 \cdot x_3 \pm 2,42$ ц с 1 га, для 71,03 % случаев / $Y_3 = -0.202510 + 0.955604 \cdot x_3 - 1.628382E-02 \cdot x_3 \pm 2.42$, c from 1 ha, for 71.03% of cases					
7. Средняя относительная влажность (x_4) / Average relative humidity, (x_4)	$\frac{32-65}{50 \pm 8,4}$	16,8	-	-	-
8. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_4) / Grain yield, kg per 1 ha, (y_4)	$\frac{7,4-27,4}{11,9 \pm 5,6}$	47,3	0,948	8,64	3,78
$Y_4 = 55,33593 - 2,375862 \cdot x_4 + 2,938397E-028 \cdot x_4 \pm 1,91$ ц с 1 га, для 89,96 % случаев / $Y_4 = 55.33593 - 2.375862 \cdot x_4 + 2.938397E-028 \cdot x_4 \pm 1.91$, c from 1 ha, for 89.96% of cases					
9. Средний дефицит влажности воздуха, гПа (x_5) / Average air humidity deficit, Hpa (x_5)	$\frac{8-24}{13 \pm 1,3}$	41,2	-	-	-
10. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y_5) / Grain yield, kg per 1 ha, (y_5)	$\frac{5,0-20,5}{11,2 \pm 5,2}$	46,4	0,878	4,07	3,63
$Y_5 = 4,580976 \cdot 10^{5,167043/X_5} \pm 2,64$ ц с 1 га, для 77,07 % случаев / $Y_5 = 4.580976 \cdot 10^{5,167043/X_5} \pm 2.64$, c from 1 ha, for 77.07% of cases					

В июле сохраняются значения оптимальности температуры воздуха (+23,3 °C), особенно её максимальных значений (не более +33 °C), суммы осадков (до 36 мм) и относительной влажности воздуха, снижение значений которой ниже 40 % создаёт неблагоприятные условия вегетации в период формирования продуктивности колоса (табл. 3). Оптимальность условий данного месяца теоретически определяет максимальную урожайность твёрдой пшеницы до 18,9 ц с 1 га.

Таблица 3. Зависимость урожайности яровой твердой пшеницы от погодных факторов за июль

Table 3. Dependence of spring hard wheat yield on weather factors in July

Коррелируемые величины/ Correlated values	Параметры величин (M±G) / The parameters of the values (M±G)	v, %	η _v	F	
				факт./ fact	теор. / theory
1. Максимальная температура воздуха, °C(x ₁) / Maximum air temperature, °C(x ₁)	$\frac{33 - 41}{36,6 \pm 2,6}$	7,0	-	-	-
2. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y ₁) / Grain yield, kg per 1 ha, (y ₁)	$\frac{7,4 - 16,8}{11,8 \pm 3,4}$	28,4	0,921	5,77	3,78
$y_1 = 592,3211 - 30,64532 \cdot x_1 + 0,40208978 \cdot x_1 \pm 1,40$ ц с 1 га, для 84,98 % случаев / $y_1 = 592.3211 - 3.,64532 \cdot x_1 + 0.40208978 \cdot x_1 \pm 1.40$, c from 84.98% of cases					
3. Осадки, мм(x ₂) / Precipitation, mm, (x ₂)	$\frac{5,0 - 105}{38,1 \pm 30,0}$	78,7	-	-	-
4. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y ₂) / Grain yield, kg per 1 ha, (y ₂)	$\frac{3,0 - 18,1}{11,3 \pm 4,0}$	35,7	0,868	3,52	2,71
$y_2 = 3,192786 + 0,4550487 \cdot x_2 - 4,012025 \cdot E - 03 \cdot x_2 \pm 2,15$ ц с 1 га, для 75,39 % случаев / $y_2 = 3.192786 + 0.4550487 \cdot x_2 - 4.012025 \cdot E - 03 \cdot x_2 \pm 2.15$, c from 75.39% of cases					
5. Средняя относительная влажность воздуха, (x ₃) / Average relative humidity, (x ₃)	$\frac{38 - 66}{51,6 \pm 6,7}$	13,0	-	-	-
6. Урожайность зерна, ц с 1 га, (y ₃) / Grain yield, kg per 1 ha, (y ₃)	$\frac{0,60 - 16,9}{11,4 \pm 4,1}$	35,6	0,848	3,09	2,51
$y_3 = - 69,3772 + 2,684208 \cdot x_3 - 2,132678 \cdot E - 02 \cdot x_3 \pm 2,32$ ц с 1 га, для 71,97 % случаев / $y_3 = - 69.3772 + 2.684208 \cdot x_3 - 2.132678 \cdot E - 02 \cdot x_3 \pm 2.32$, c from 71.97% of cases					

В целом, обобщая анализ зависимости урожайности яровой твёрдой пшеницы от условий периода вегетации за изученный период, можно констатировать рост напряжённости условий погодных факторов для формирования её продуктивности. Растения испытывают температурный стресс как в виде продолжительного стресса в период вегетативного развития, так и терминального в период после цветения. Оптимальность температурного режима воздуха является основным фактором формирования продуктивности яровой твёрдой пшеницы в условиях засушливой зоны.

Для анализа зависимости показателей качества зерна от факторов погоды использован также корреляционно-регрессионный метод, по которому установлена достоверно высокая связь стекловидности со средней относительной влажностью воздуха (r=0,827), средняя связь со средней температурой воздуха (r=0,745), максимальной температурой воздуха (r=0,635) и среднесуточным дефицитом влажности воздуха (r=0,730). Содержание клейковины имело достоверно высокую связь (r=0,813) со среднесуточным дефицитом влажности воздуха, среднюю с относительной влажностью воздуха (r=0,741) и с суммой осадков (r=0,628). Индекс деформации клейковины достоверно коррелировал со среднесуточным дефицитом влажности воздуха (r=0,926) при средних связях со средней температурой воздуха (r=0,596), максимальной температурой воздуха (r=0,603) и относительной влажностью воздуха (r=0,680).

Анализ показателей качества зерна за конкретные годы опытов показывает их значительную изменчивость. Условия вегетационного периода 2017 года отличались, как было указано выше, благоприятностью температурного режима на фоне незначительного количества осадков, что позволило сформировать высокую урожайность культур.

Особенностью погодных условий вегетационного периода 2022 года являлось рекордное количество осадков, выпавших сразу же после сева при невысокой температуре воздуха. В дальнейшем при норме выпавших осадков температура воздуха отличалась невысокими значениями в июне-июле. Урожайность сортов мягкой пшеницы составила 11,9-22,3 ц с 1 га, сортов твёрдой пшеницы – 8,3-18,0 ц с 1 га.

Условия периода вегетации в 2023 году характеризовались проявлением резко неблагоприятных условий по температуре воздуха в начале вегетации (фазы всходы-кущение яровых культур), улучшением их к фазе колошения и налива зерна. Но температурный стресс в начале вегетации отрицательно повлиял на формирование продуктивности культур в дальнейшем, что отразилось на урожайности, которая по сортам мягкой пшеницы была от 9,4 ц с 1 га до 12,4 ц с 1 га, у сортов твёрдой пшеницы – от 8,5 до 10,1 ц с 1 га.

Далее рассмотрим показатели качества зерна, полученные в эти годы (табл. 4).

Таблица 4. Показатели качества зерна сортов яровой твёрдой пшеницы в контрастные по условиям вегетации годы

Table 4. Grain quality indicators of spring durum wheat varieties in years with contrasting vegetation conditions

Сорт / <i>Variety</i>	Год / <i>Year</i>	Показатели качества зерна/ <i>Grain quality indicators</i>			
		Содержа- ние сырой клейко- вины, %/ <i>Crude gluten content, %</i>	Стек- ловид- ность, % <i>/ Vitre- ousness, %</i>	ИДК клейко- вины, ед. / <i>Gluten IDC, units.</i>	Группа качест- ва / <i>Quality Group</i>
Оренбургская 10 / <i>Orenburgskaya 10</i>	2017	32	92	115	III
	2022	45	89	98	II
	2023	34	69	93	II
Безенчукская 210 / <i>Bezenchukskaya 210</i>	2017	23	93	114	III
	2022	41	79	94	II
	2023	29	74	86	II

Как видно из данных таблицы, в урожайный 2017 год снизилось содержание сырой клейко-вины у сорта твёрдой пшеницы Безенчукская 210, что в итоге привело к формированию менее классного зерна. Но при этом стекловидность зерна в условиях этого года значительно повышалась.

В годы с перепадами погодных условий от благоприятных (выпадение значительного количества осадков) до резко стрессовых (рост температуры воздуха) классность зерна повышается, но снижается стекловидность зерна.

Обсуждение полученных результатов.

Яровая твёрдая пшеница является важнейшей зерновой культурой. Оренбургская область является основной зоной производства её зерна. В последние годы отмечается тенденция снижения её урожайности. Отдельной проблемой является снижение качественных показателей зерна данной культуры. Основной причиной возникающих при этом проблем является нарастание засушливости, обусловленной изменениями климата. Влияние факторов погоды на продуктивность яровой твёрдой пшеницы сказывается в более значительной мере, чем на другие зерновые культуры. При этом подчёркивается (Bapela Th et al., 2024), что одновременное повышение засухоустойчивости и урожайности за счёт селекционных достижений – сложная задача из-за неадекватных методов фе-

нотипирования, трудностей в выявлении ключевых селекционных признаков и большого генотипа при взаимодействии с окружающей средой. Оптимальные значения температуры воздуха по оценке Khan A с соавторами (2021) в период колошения, цветения и налива зерна составляют соответственно $+16\pm 2,3$ °C, $+23\pm 1,75$ °C, и $+26\pm 1,53$ °C. Значения основных погодных характеристик, установленные в нашей работе по месячным показателям, практически соответствуют данным параметрам. По данным Скороходова В.Ю. с коллегами (2023), качество зерна твёрдой пшеницы зависит от метеоусловий периода вегетации, и в годы с обильным выпадением осадков качество зерна снижается, а в засушливые (при низком уровне урожайности) имеет лучшие показатели. При этом паровые предшественники в последствии равноценны по своему влиянию на качество зерна мягкой пшеницы. Для условий Западной Сибири специалистами (Плотникова Л.Я. и др., 2022; Евдокимов М.Г. и др., 2020) также указывается на лимитирующее действие засухи на урожайность твёрдой пшеницы с ГТК=0,65, а также недостаточным увлажнением 1-й декады мая и 2-й декады июля и температуры июня. Качество зерна твёрдой пшеницы в значительной мере определяется погодными условиями конкретного года и последнее время имеется тенденция к снижению отдельных показателей. Gagliardi A с коллегами (2020) считают, для условий Средиземноморья влияние вегетационного периода на параметры качества зерна твёрдой пшеницы более очевидно, чем влияние генотипа и уровня азота.

Заключение.

Яровая твёрдая пшеница, являясь важнейшей зерновой культурой, отличается неустойчивостью урожайности и качественных показателей зерна. За период анализа урожайность данной культуры снизилась с 19.3 ц с 1 га в среднем за 1991-1994 гг до 13.8 ц с 1 га за 2017-2021 гг. Основной причиной является фактор погоды, обусловленный изменениями как глобального, так регионального климата. Наиболее негативно на формирование продуктивности данной культуры влияет нарастание температуры воздуха с началом её вегетации, что не позволяет реализовать её потенциальную продуктивность. Качество зерна подвержено изменчивости от условий периода вегетации: в благоприятные годы наблюдается повышение стекловидности зерна до 92-93 %, а в годы с ростом температурного режима воздуха отмечается улучшение качества клейковины до уровня II класса. Полученные результаты могут быть использованы в практической селекции при подборе сортов в качестве родительских форм.

Список источников

1. Гончаров С.В., Курашов М.Ю. Перспективы развития российского рынка твёрдой пшеницы // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 2(57). С. 66-75. [Goncharov SV, Kurashov MYu. Prospects for development of the Russian durum wheat market. Vestnik of Voronezh State Agrarian University. 2018;2(57):66-75. (In Russ.)]. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66
2. Ежегодные данные Пресс-релиза Министерства сельского хозяйства Оренбургской области за 2010-2013 гг. [Ezhegodnye dannye Press-reliza Ministerstva sel'skogo hozyajstva Orenburgskoj oblasti za 2010-2013 gg. (In Russ.)].
3. Евдокимов М.Г., Юсов В.С., Пахотина И.В. Зависимость урожайности и качества зерна твёрдой яровой пшеницы от метеорологических факторов в Южной лесостепи Западной Сибири // Зерновое хозяйство России. 2020. № 5(71). С. 26-31. [Evdokimov MG, Yusov VS, Pakhotina IV. Correlation between productivity and grain quality of spring durum wheat and meteorological factors in the southern forest-steppe of the Western Siberia. Grain Economy of Russia. 2020; 5(71):26-31. (In Russ.)]. doi: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31
4. Крючков А.Г., Тейхриб П.П., Попов А.Н. Твёрдая пшеница. Современные технологии возделывания: монография. Изд-во: Оренб. кн. изд-во, 2008. 704 с. [Kryuchkov AG, Teikhris PP,

Popov AN. Tverdaya pshenitsa. Sovremennye tekhnologii vozdel'yvaniya: monografiya. Izd-vo: Orenburgskoe knizhnoe izdatel'stvo; 2008:704 p. (*In Russ.*).

5. Качество зерна яровой мягкой и твёрдой пшеницы в севооборотах Оренбургского Предуралья / В.Ю. Скороходов, Ю.В. Кафтан, А.А. Зоров, Е.Н. Скороходова, Н.А. Зенкова // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 260-272. [Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. (*In Russ.*)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-260>

6. Особенности формирования урожая твёрдой пшеницы на юге России / А.Ю. Беляев, Н.Ю. Петров, М.П. Аксёнов, Г.Н. Зверева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 5(103). С. 27- 32. [Belyaev AI, Petrov NYu, Aksenov MP, Zvereva GN. Features of the formation of the durum wheat crop in the south of Russia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;103(5):27-32. (*In Russ.*)]. doi: 10.37670/2073-0853-2023-103-5-27-32

7. Плотникова Л.Я., Глушаков Д.А., Юсов В.С. Результаты изучения засухоустойчивости твёрдой пшеницы и её компонентов в Западной Сибири // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 4(48). С. 56-70. [Plotnikova LYa, Glushakov DA, Yusov VS. Results of the study of drought resistance of durum wheat and its components in Western Siberia. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;4(48):56-70. (*In Russ.*)]. doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_56

8. Розова М.А., Зиборов А.И., Егиазарян Е.Е. Связь температурных показателей периода вегетации с основными агрономически значимыми характеристиками сортов яровой твёрдой пшеницы на Алтае // Российская сельскохозяйственная наука. 2021. № 5. С. 9-15. [Rozova MA, Ziborov AI, Egiazaryan EE. Relationships of temperature parameters of growing period and major agronomically valuable traits of spring durum wheat varieties in Altai. *Rossiiskaia selskokhoziaistvennaia nauka*. 2021;5:9-15. (*In Russ.*)]. doi: 10.31857/S2500262721050021

9. Тимошенкова Т.А. Водоудерживающая способность как признак засухоустойчивости при отборе гибридных форм *Tritiumdurum* // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 4(102). С. 20-26. [Timoshenkova TA. Water-holding capacity as a sign of drought resistance in the selection of hybrid forms of *triticum durum*. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;4(102):20-26. (*In Russ.*)]. doi: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-20-26

10. Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: руководство для экономистов / пер. с нем. и предисл. В.М. Ивановой. М.: «Финансы и статистика», 1983. 302 с. [Fjorster Je, Rjonec B. *Metody korreljacionnogo i regressionnogo analiza: rukovodstvo dlja jekonomistov*. *Perevod s nemeckogo i predislovie VM Ivanovoj*. Moscow: «Finansy i statistika»; 1983:302 p. (*In Russ.*)].

11. Bailey-Serres J, Parker JE, Ainsworth EA, Oldroyd GED, Schroede JI. Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*. 2019;575:109-118. doi: 10.1038/s41586-019-1679-0

12. Bapela Th, Shimelis H, Tsilo TJ, Mathew I. Genetic improvement of wheat for drought tolerance: progress, challenges and opportunities. *Plants (Basel)*. 2022;11(10):1331. doi: 10.3390/plants11101331

13. Besaliev IN, Panfilov AL, Karavaytsev YaA, Reger NS, Kholodilina TN. Content of prolin and essential amino acids in spring wheat grain in dry conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;848:012116. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012116

14. Chaonan Li, Long Li, Matthew P Reynolds, Jingyi Wang, Xiaoping Chang, Xinguo Mao, Ruilian Jing. Recognizing the hidden half in wheat: root system attributes associated with drought tolerance. *J Exp Bot*. 2021;72(14):5117-5133. doi: 10.1093/jxb/erab124

15. Dolianovic Z, RoljeicNikolic S, Kovacevic D, Djurjic S, Miodragovic R, Jovanovic M, Popovic Diorievic J. Mineral profile of winter wheat grain: Effects of soil tillage systems and nitrogen fertilization. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019;17(5):11757-11771. doi: 10.15666/aer/1705_1175711771

16. Gagliardi A, Carucci F, Masci St, Flagella Z, Gatta G, Giuliani MM. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under mediterranean conditions. *Agronomy*. 2020;10(5):755. doi: 10.3390/agronomy10050755
17. Igbal J. Morphological, physiological and molecular markers for the adaptation of wheat in drought. *Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering*. 2019;2(1):1-13. doi: 10.9734/AJBGE/2019/46253
18. Jagadish Rane, Ajay Kumar Singh, Mahesh Kumar, Karnar M Boraiah, Kamlesh K Meena, Aliza Pradhan, PV Vara Prasad. The adaptation and tolerance of major cereals and legumes to important abiotic stresses. *Int J Mol Sci*.2021;22(23):12970. doi: 10.3390/ijms222312970
19. Khan A, Ahmad M, Ahmed M, Iftikhar Hussain M. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies. *Plants (Basel)*. 2021;10(1):43. doi: 10.3390/plants10010043
20. Lan Y, Chawade A, Kuktaite R, Johansson E. Climate change impact on performance – effects on vigour, plant traits and yield from early and late drought stress in diverse lines. *Int J Mol Sci*. 2022;23(6): 3333. doi: 10.3390/ijms23063333
21. Maqbool S, Ahmad S, Kainat Z, et al. Root system architecture of historical spring wheat cultivars is associated with alleles and transcripts of major functional genes. *BMC Plant Biol*. 2022;22(1):590. doi: 10.1186/s12870-022-03937-7
22. Nardino M, Perin EC, Aranha BC, Carpes ST, Fontoura BH, Palheta de Sousa DJ, de Freitas DS. Understanding drought response mechanismus in wheat and multi-trait selection. *Plos One*. 2022;17(4):e0266368. doi: 10.1371/journal.pone.0266368
23. Sinda Ben Mariem, Jon González-Torralba, Concha Collar, Iker Aranjuelo, Fermín Morales. Durum wheat grain yield and quality under low and high nitrogen conditions: insights into natural variation in low- and high- yielding genotypes. *Plants (Basel)*. 2020;9(12):1636. doi: 10.3390/plants9121636
24. Wan C, Dang P, Gao L, Wang J, Tao J, Qin X, Feng B and Gao J. How does the environment affect wheat yield and protein content response to drought? A meta – analysis. *Front Plant Sci*. 2022;13:896985. doi: 10.3389/fpls.2022.896985

References

1. Goncharov SV, Kurashov MYu. Prospects for development of the Russian durum wheat market. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;2(57):66-75. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.66
2. Annual data of the Press release of the Ministry of Agriculture of the Orenburg region for 2010-2013.
3. Evdokimov MG, Yusov VS, Pakhotina IV. Correlation between productivity and grain quality of spring durum wheat and meteorological factors in the southern forest-steppe of the Western Siberia. *Grain Economy of Russia*. 2020;5(71):26-31. doi: 10.31367/2079-8725-2020-71-5-26-31
4. Kryuchkov AG, Techrib PP, Popov AN. Durum wheat. Modern cultivation technologies: monograph. Publishing house: Orenburg Book Publishing House; 2008:701 p.
5. Skorokhodov VYu, Kaftan YuV, Zorov AA, Skorokhodova EN, Zenkova NA. Quality of spring soft and durum wheat grain in crop rotations of the Orenburg Cis-Urals. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):260-272. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-260>
6. Belyaev AI, Petrov NYu, Aksenov MP, Zvereva GN. Features of the formation of the durum wheat crop in the south of Russia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;103(5):27-32. doi: 10.37670/2073-0853-2023-103-5-27-32
7. Plotnikova LYa, Glushakov DA, Yusov VS. Results of the study of drought resistance of durum wheat and its components in Western Siberia. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2022;4(48):56-70. doi: 10.48136/2222-0364_2022_4_56
8. Rozova MA, Ziborov AI, Egiazaryan EE. Relationships of temperature parameters of growing period and major agronomically valuable traits of spring durum wheat varieties in Altai. *Russian Agricultural Science*. 2021;5:9-15. doi: 10.31857/S2500262721050021

9. Timoshenkova TA. Water-holding capacity as a sign of drought resistance in the selection of hybrid forms of triticum durum. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;4(102):20-26. doi: 10.37670/2073-0853-2023-102-4-20-26
10. Förster E, Rönz B. Methods of correlation and regression analysis: a guide for economists. trans. from German and foreword by VM. Ivanova. Moscow: "Finances and statistics"; 1983:302 p.
11. Bailey-Serres J, Parker JE, Ainsworth EA, Oldroyd GED, Schroede JI. Genetic strategies for improving crop yields. *Nature*. 2019;575:109-118. doi: 10.1038/s41586-019-1679-0
12. Bapela Th, Shimelis H, Tsilo TJ, Mathew I. Genetic improvement of wheat for drought tolerance: progress, challenges and opportunities. *Plants (Basel)*. 2022;11(10):1331. doi: 10.3390/plants11101331
13. Besaliev IN, Panfilov AL, Karavaytsev YaA, Reger NS, Kholodilina TN. Content of prolin and essential amino acids in spring wheat grain in dry conditions. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;848:012116. doi: 10.1088/1755-1315/848/1/012116
14. Chaonan Li, Long Li, Matthew P Reynolds, Jingyi Wang, Xiaoping Chang, Xinguo Mao, Ruilian Jing. Recognizing the hidden half in wheat: root system attributes associated with drought tolerance. *J Exp Bot*. 2021;72(14):5117-5133. doi: 10.1093/jxb/erab124
15. Dolianovic Z, RoljeicNikolic S, Kovacevic D, Djurjic S, Miodragovic R, Jovanovic M, Popovic Diorievic J. Mineral profile of winter wheat grain: Effects of soil tillage systems and nitrogen fertilization. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2019;17(5):11757-11771. doi: 10.15666/aeer/1705_1175711771
16. Gagliardi A, Carucci F, Masci St, Flagella Z, Gatta G, Giuliani MM. Effects of genotype, growing season and nitrogen level on gluten protein assembly of durum wheat grown under mediterranean conditions. *Agronomy*. 2020;10(5):755. doi: 10.3390/agronomy10050755
17. Igbal J. Morphological, physiological and molecular markers for the adaptation of wheat in drought. *Asian Journal of Biotechnology and Genetic Engineering*. 2019;2(1):1-13. doi: 10.9734/AJBGE/2019/46253
18. Jagadish Rane, Ajay Kumar Singh, Mahesh Kumar, Karnar M Boraiah, Kamlesh K Meena, Aliza Pradhan, PV Vara Prasad. The adaptation and tolerance of major cereals and legumes to important abiotic stresses. *Int J Mol Sci*. 2021;22(23):12970. doi: 10.3390/ijms222312970
19. Khan A, Ahmad M, Ahmed M, Iftikhar Hussain M. Rising atmospheric temperature impact on wheat and thermotolerance strategies. *Plants (Basel)*. 2021;10(1):43. doi: 10.3390/plants10010043
20. Lan Y, Chawade A, Kuktaite R, Johansson E. Climate change impact on performance – effects on vigour, plant traits and yield from early and late drought stress in diverse lines. *Int J Mol Sci*. 2022;23(6): 3333. doi: 10.3390/ijms23063333
21. Maqbool S, Ahmad S, Kainat Z, et al. Root system architecture of historical spring wheat cultivars is associated with alleles and transcripts of major functional genes. *BMC Plant Biol*. 2022;22(1):590. doi: 10.1186/s12870-022-03937-7
22. Nardino M, Perin EC, Aranha BC, Carpes ST, Fontoura BH, Palheta de Sousa DJ, de Freitas DS. Understanding drought response mechanismus in wheat and multi-trait selection. *Plos One*. 2022;17(4):e0266368. doi: 10.1371/journal.pone.0266368
23. Sinda Ben Mariem, Jon González-Torralba, Concha Collar, Iker Aranjuelo, Fermín Morales. Durum wheat grain yield and quality under low and high nitrogen conditions: insights into natural variation in low- and high- yielding genotyp. *Plants (Basel)*. 2020;9(12):1636. doi: 10.3390/plants9121636
24. Wan C, Dang P, Gao L, Wang J, Tao J, Qin X, Feng B and Gao J. How does the environment affect wheat yield and protein content response to drought? A meta – analysis. *Front Plant Sci*. 2022;13:896985. doi: 10.3389/fpls.2022.896985

Информация об авторах:

Ишен Насанович Бесалиев, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом технологий зерновых и кормовых культур, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051 г. Оренбург, ул. Гагарина 27/1, тел.: +79228665599.

Сергей Иванович МIRONENKO, доктор сельскохозяйственных наук, руководитель структурного подразделения, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460051 г. Оренбург, ул. Гагарина 27/1, тел.:89228115300.

Information about the authors:

Ishen N Besaliev, Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Department of Grain and Forage Crops Technologies, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: +79228665599.

Sergey I Mironenko, Dr. Sci. (Agriculture), Head of the Structural unit, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 27/1 Gagarin Ave., Orenburg, 460051, tel.: +79228115300.

Статья поступила в редакцию 13.08.2024; одобрена после рецензирования 17.10.2024; принята к публикации 16.12.2024.

The article was submitted 13.08.2024; approved after reviewing 17.10.2024; accepted for publication 16.12.2024.