

УДК 633.111.1«321»:631.52:551.5

DOI 10.18286/1816-4501-2021-4-19-24

УСЛОВИЯ ВЕГЕТАЦИИ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МЕЖФАЗНЫХ ПЕРИОДОВ ВЕГЕТАЦИИ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАСУШЛИВЫХ УСЛОВИЯХ

Бесалиев Ишен Насанович¹, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом «Технологии зерновых и кормовых культур»

Панфилов Александр Леонидович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела «Технологии зерновых и кормовых культур»

Регер Нелли Сергеевна, аспирант, специалист-исследователь отдела «Технологии зерновых и кормовых культур»

ФГБНУ Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН

46000, г. Оренбург, ул. 9 Января, дом 29; тел.: 8 (3532) 30-83-47; e-mail: orniish_tzk@mail.ru.

Ключевые слова: яровая пшеница, температура воздуха, продолжительность периода вегетации, урожайность, корреляция.

Исследования выполнены на чернозёме южном карбонатном в центральной зоне Оренбургской области. Цель исследования состояла в изучении связи продолжительности периода вегетации и межфазных периодов яровой пшеницы с температурным режимом воздуха и урожайностью. Нарастание засушливости климата с нарастанием температурного стресса на растение на фоне недостатка осадков приводит к изменениям в фенологии культур в сторону сокращения продолжительности периода вегетации. Изучена зависимость урожайности пшеницы от среднесуточной и максимальной температуры воздуха по межфазным периодам с установлением их адаптивных параметров: для средней температуры за период от всходов до колошения – 10,5°C и 19,7°C для периода от колошения до полной спелости. Приведены фактические данные о продолжительности межфазных периодов вегетации яровой пшеницы в различные по благоприятности годы. Установили достоверные коррелятивные связи урожайности с продолжительностью межфазных периодов вегетации. Показана сортовая специфика в изученных вариантах опыта. В результате исследования получено, что относительная продолжительность периода вегетации для яровой пшеницы в зоне Оренбургского Предуралья составляет 91 день с уровнем урожайности 27,4 ц с 1 га. Резкое (на 15 дней) сокращение продолжительности вегетационного периода приводит к снижению урожайности до 2,8 ц с 1 га.

**Исследования выполняются в соответствии с планом НИР на 2020-2021 гг.
ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0761-2019-0004).**

Введение

Одним из основных экстремальных погодных факторов в результате потепления климата является высокая температура воздуха, особенно на фоне отсутствия или незначительного количества осадков. Повышение температуры ведёт к нарушению ростовых процессов и развития культур, в частности, к сокращению отдельных фенологических фаз и в целом всего периода вегетации. В острозасушливые годы период вегетации яровой пшеницы сокращает-

ся на 9-11 дней, урожайность снижается на 1,71-2,35 т с 1 га с уменьшением крупности зерна на 10,9-17,2 г [1].

Основная доля изменчивости продолжительности периода вегетации яровой пшеницы, по данным В.И. Никитиной [2], определяется географическим пунктом возделывания (27,8%), сортовыми особенностями (22,4%) и взаимодействием факторов «годы x географический пункт» (22,7%).

Изменения фенологии культур из-за из-

лишнего теплового стресса отрицательно влияют на физиологические процессы [3]. Оптимальная температура для фотосинтеза составляет 20-30°C, при более высоких значениях (32°C и выше) скорость фотосинтеза быстро снижается [4].

В ответ на рост температурного фактора растения включают процесс ускоренного развития, позволяющий до наступления засухи завершить жизненный цикл [5].

Наибольшая чувствительность к стрессу у растений проявляется в период генеративного развития. В исследованиях Fabian A. et. al. [6] комбинация высокой температуры (32-34 °C) и засухи в течение 5 дней в период гаметогенеза пшеницы (*Triticum aestivum*) снижала функциональность женских и мужских репродуктивных клеток соответственно на 34% и 66%.

Оптимальная температура воздуха для роста и развития пшеницы в период колошения, цветения и налива зерна составляет соответственно $16 \pm 2,30$ °C, $23 \pm 1,75$ °C и $26 \pm 1,53$ °C [7]. При этом авторы подчёркивают, что эффективно переносят высокую температуру воздуха генотипы, которые могут поддерживать более высокое накопление пролина, глицин – бетаина, сохранять зелёный цвет и активность антиоксидантных ферментов.

Чувствительность женских гаметофитов к стрессовым условиям подтверждают и данные других исследователей [8-9].

Негативное действие высоких температур на фенологию сельскохозяйственных культур может быть компенсировано путём выращивания более скороспелых культур, выведением сортов с изменёнными требованиями к температурному режиму [10-11].

Таким образом, повышение температурного режима воздуха в результате потепления климата негативно влияет на ростовые процессы и функции растительного организма, в результате чего сокращается вегетационный период. В первой половине вегетации снижается время активного фотосинтеза и накопления ассимилятов, а во второй половине нарушаются механизмы завязывания полноценного колоса и размеров зерновок, что в итоге приводит к снижению урожайности.

Оренбургская область входит в число регионов, где за последнее десятилетие повторяемость экстремальных засушливых условий для сельскохозяйственных культур составила 80% [12].

Целью исследования было изучение связи продолжительности периода вегетации и меж-

фазных периодов яровой пшеницы с температурным режимом воздуха и урожайностью.

Материалы и методы исследований

Исследования проведены в 2017-2020 гг. в центральной зоне Оренбургской области. Почвы – чернозём южный карбонатный, средне-мощный тяжелосуглинистый.

Материалом для исследований служили данные полевых опытов по изучению экологической пластичности сортов яровой пшеницы на фоне различных приёмов основной обработки почвы (вспашка и безотвальное рыхление) с применением регулятора роста.

Закладка фонов основной обработки почвы проводилась осенью предшествующего года. Подготовка опытного участка весной проведена в соответствии с требованиями, принятыми в зоне проведения исследований. Норма высева -4,5 млн. всхожих семян на гектар.

В опыте изучались районированные сорта пшеницы мягкой яровой: Учитель, Тулайковская золотистая, Оренбургская 23, Ульяновская 105.

Учёт фенологических фаз проводился по Методике государственного сортоиспытания [13]. Изучение математических зависимостей – по методу нелинейного корреляционно-регрессионного анализа, а также методом Спирмена [14].

Результаты исследований

Погодные условия в годы проведения исследований отличались контрастностью по температурному режиму воздуха и количеству выпавших осадков. Условия 2017 года были благоприятными с ГТК мая 0,59 ед., июня 0,64 ед. и июля 0,06 ед. В 2018-2020 годах метеоусловия периода вегетации были неблагоприятными. ГТК мая в 2018 году составил 0,60 ед., в 2019 году 0,18 ед., в 2020 году 0,60 ед. В июне ГТК составил соответственно по годам 0,19; 0,17 и 0,41 ед. ГТК июля был 0,22 ед. в 2018 году, 1,36 ед. в 2019 году и 0,28 ед. в 2020 году. В 2017 году среднесуточная температура воздуха была в мае и июне на 1,0 и 2,3 °C ниже нормы, в июле в пределах нормы. В 2018-2020 гг. отмечено превышение среднесуточной температуры воздуха в мае на 1,2-2,5 °C, в июне на 1,0 °C и около нормы, в июле в 2018-2020 годах нормы по средней температуре воздуха были превышены на 3,4-3,7 °C.

В сложившихся погодных условиях периода вегетации урожайность сортов составила в 2017 году от 18,1 до 22,7 ц с 1 га, в 2018 г. - от 3,8 до 6,3 ц с 1 га, в 2019 г.- 2,2-4,1 ц с 1 га, в 2020 г.- 3,0-6,8 ц с 1 га.

Таблица 1

Корреляционные отношения связи урожайности с показателями температуры воздуха по межфазным периодам

Показатель температуры воздуха (x)	Показатель связи с урожайностью (y)		
	коэффициент корреляции	коэффициент детерминации, %	уравнение
Средняя температура за период всходы-колошение (x1)	0,811	65,73	$y_1 = -512,941 + 46,152x_1 - 1,017x_1^2 \pm 2,02$ ц с 1 га
Средняя температура за период колошение-полная спелость (x2)	0,975	95,10	$y_2 = 3754,972 - 353,281x_2 - 8,319x_2^2 \pm 1,44$ ц с 1 га
Максимальная температура за период всходы-колошение (x3)	0,723	52,23	$y_3 = 39,908 - 0,987x_3 \pm 2,88$ ц с 1 га
Максимальная температура за период колошение-полная спелость (x4)	0,967	95,46	$y_4 = 3441,257 - 237,700x_4 + 4,103x_4^2 \pm 1,83$ ц с 1 га

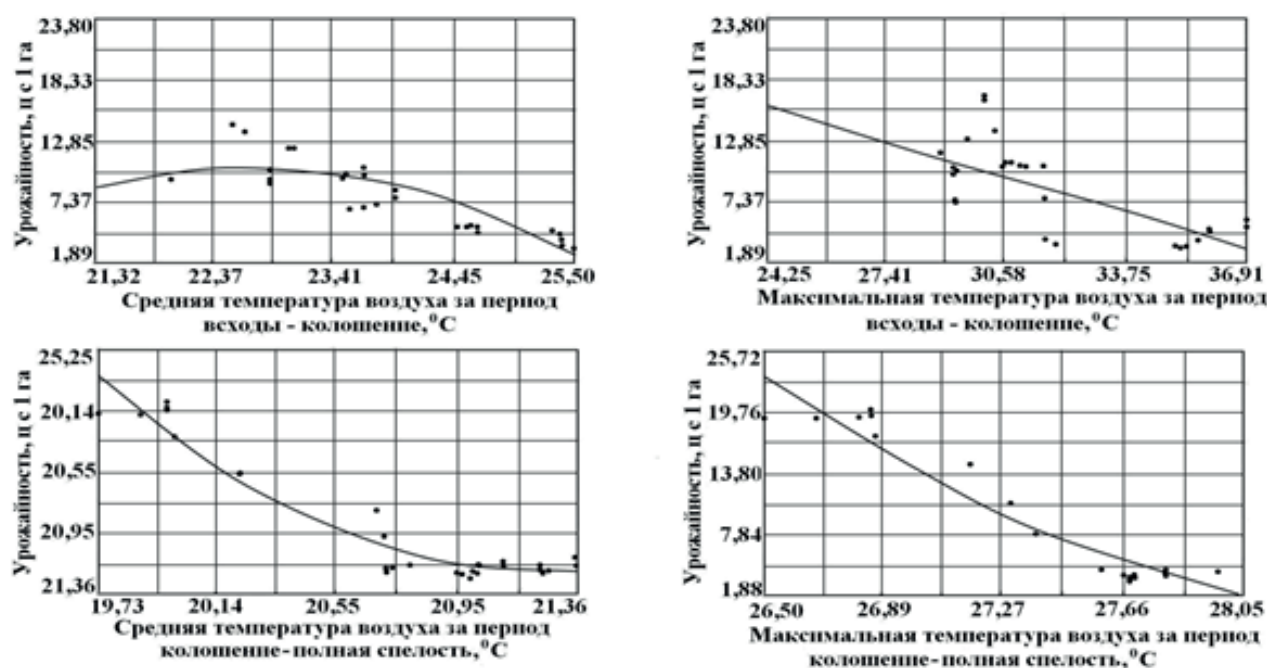


Рис. 1 - Зависимость урожайности яровой пшеницы от среднесуточной и максимальной температуры воздуха по межфазным периодам

Математический анализ связи урожайности яровой пшеницы от средней и максимальной температуры воздуха периодов вегетации всходы – колошение и колошение – полная спелость показал наличие сильных коэффициентов корреляции (табл. 1).

Сильные степени связи урожайности получены для показателей температуры воздуха второй половины вегетации, что подтверждает значительную уязвимость генеративных органов к стрессу от жары и засухи.

Графики полученных зависимостей также характеризуют большую значимость максимальной температуры воздуха как фактора снижения продуктивности.

В годы исследований оптимальные значения средней температуры воздуха оказались в

пределах 10,5 °С в период от всходов до колошения и 19,7 °С - в период от колошения до полной спелости с урожайностью 22,7-23,0 ц с 1 га.

Для максимальной температуры воздуха наиболее приемлемыми значениями являются: для периода всходы – колошение не более 24,2 °С, для периода колошение – полная спелость – не более 26,5 °С, при которых урожайность составляет 23,4-24,2 ц с 1 га.

Полученные значения температурных характеристик укладываются в рамки физиологически обоснованных оптимальных значений.

Снижение урожайности яровой пшеницы до 1,8-4,1 ц с 1 га обусловливается ростом средней температуры воздуха в первой половине вегетации до 25,5 °С, а во второй – до 21,2 °С, а максимальных значений – до 36,9 °С и 28,0 °С

Таблица 2

Продолжительность межфазных периодов вегетации в различные по благоприятности годы

Сорт	Продолжительность периода, дней				
	всходы-кущение	кущение-выход в трубку	выход в трубку-колошение	колошение-полная спелость	всходы-полная спелость
благоприятный год					
Учитель	18	14	18	38	86
Оренбургская 23	18	13	14	38	83
Тулайковская золотистая	18	13	14	40	85
Ульяновская 105	16	13	19	40	88
неблагоприятные годы (в среднем)					
Учитель	13	13	15	33	74
Оренбургская 23	13	13	15	33	74
Тулайковская золотистая	13	14	16	34	77
Ульяновская 105	14	15	16	34	78

соответственно. Высокая температура воздуха, особенно её максимальные значения, выступают ингибитором всех морфофизиологических и биохимических процессов в растениях, что в конечном итоге приводит к снижению продуктивности.

В исследованиях обнаружено изменение продолжительности как отдельных межфазных периодов вегетации яровой пшеницы, так и всего вегетационного периода (табл. 2).

В благоприятный год удлинение периода вегетации яровой пшеницы на 10 дней определяется увеличением продолжительности каждого межфазного периода при более существенном удлинении второй половины вегетации. Математическая зависимость связи продолжительности периодов вегетации с урожайностью, выполненная по методике Спирмена, показала, что коэффициенты корреляции для продолжительности периодов всходы – колошение и всходы – полная спелость составляют 0,47-0,49, для периодов кущение – выход в трубку – 0,54-0,56, а для периодов от всходов до кущения и от колошения до полной спелости 0,64 и 0,66 соответственно.

Изучение связи продолжительности отдельных межфазных периодов с урожайностью яровой пшеницы по методу корреляционно-регрессионных зависимостей подтверждает полученные выше результаты.

Так, коэффициент корреляции для периода всходы – колошение составляет 0,773 с детерминацией связи в 59,81% случаев. При продолжительности данного периода до 52 дней возможно формирование урожайности яровой пшеницы до 23,0 ц с 1 га со снижением до 4,1 ц с 1 га при продолжительности в 43 дня. Для

периода колошение – полная спелость получен коэффициент корреляции 0,937 с детерминирующей связью в 87,75% случаев с обозначением максимальной, в пределах эксперимента, урожайностью в 24,1 ц с 1 га при продолжительности данного межфазного периода в 40 дней, со снижением урожайности до 2,5 ц с 1 га при продолжительности периода в 30 дней.

В целом оптимальной для условий Оренбургского Приуралья является продолжительность полной вегетации яровой пшеницы в 91 день с уровнем урожайности 27,4 ц с 1 га. Сокращение периода вегетации на 15 дней вследствие экстремальных условий температурно-влажностного режима не позволяет яровой пшенице сформировать полноценный колос, урожайность снижается до 2,8 ц с 1 га.

Среди изученных сортов яровой мягкой пшеницы следует отметить сорт Ульяновская 105, который отмечается более продолжительным (на 2-4 дня) вегетационным периодом. У этого сорта отмечается более позднее наступление всех фаз вегетации. Этим в известной мере объясняется более высокая урожайность данного сорта: в благоприятный год его урожайность составила 20,6 ц с 1 га, тогда как у сорта Учитель – 18,2 ц с 1 га, Тулайковская золотистая – 19,8 ц с 1 га, Оренбургская 23 – 19,6 ц с 1 га. В неблагоприятные годы урожайность сорта Ульяновская 105 составляла 4,6-5,2 ц с 1 га, тогда как у сорта Учитель она была на уровне 2,4-2,9 ц с 1 га, у Оренбургской 23 – 3,8 ц с 1 га, у сорта Тулайковская золотистая 4,1 ц с 1 га. Это показывает генетическую детерминированность устойчивости сортов к засухе, когда удлинение периода вегетации сопряжено с устойчивостью к стресс-факторам.

Обсуждение

Высокая температура воздуха как следствие климатических изменений является серьёзным стресс-фактором в формировании продуктивности сельскохозяйственных культур. Одним из отрицательных проявлений является сокращение продолжительности вегетационного периода. Ускоренная вегетация и созревание зерна приводит к изменению в физиолого-биохимических процессах, протекающих в растениях, в итоге снижающих продуктивность [15,16]. Высокая температура сокращает время для поглощения доступных питательных веществ. В условиях степной зоны на фоне недостатка доступной влаги в почве высокая температура воздуха является причиной сокращения продолжительности периода вегетации на 10-15 дней.

Заключение

Таким образом, наблюдаемое в последние годы в степи Оренбуржья нарастание засухливости климата оказывает прямое негативное влияние на продуктивность яровой пшеницы, одной из причин которой является сокращение продолжительности вегетации. Возделывание сортов с более продолжительным периодом вегетации может быть одним из путей снижения отрицательных последствий температурного стресса.

Библиографический список

1. Урожайность яровой твёрдой пшеницы в зависимости от гидротермических условий на светло-каштановых почвах Волгоградской области / В. В. Балашов, А. В. Балашов, К. В. Лёвкина, К. А. Кудина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. — 2017. - №4 (48). — С. 29-35.
2. Никитина, В. И. Зависимость продолжительности вегетационного периода сортов яровой мягкой пшеницы от пункта возделывания / В. И. Никитина // Вестник КрасГАУ. — 2019. - № 5(146). — С. 43-49.
3. Phenotyping for drought resistance in bread wheat using physiological and biochemical traits / K. Ahmed, G. Shabbir, M. Ahmed, K. N. Shah // Sci Total Environ. — 2020. — 10. — P. 729:139082. - doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139082. Epub 2020 Apr 29.
4. Narayanan, S. Effects of high temperature stress and traits associated with tolerance in wheat / S. Narayanan // Open Access J Sci. — 2018. — № 2 (3). — С. 177-186.
5. Flowering as a Drought Escape Mechanism in Plants: How Can It Aid Wheat Production? / Y. Shavrukov, A. Kurishbayev, S. Jatayev, V. Shvidchenko, L. Zotova, F. Koekemoer, S. Groot, K. Soole, P. Langridge // Frontiers in Plant Science. — 2017. — № 17 (8).
6. Stigma Functionality and Fertility Are Reduced by Heat and Drought Co-stress in Wheat / A. Fabian, E. Safran, G. Szabo-Eitel, B. Barnabas, K. Jäger // Front Plant Sci. — 2019. — № 10. — P. 244.
7. Rising Atmospheric Temperature Impact on Wheat and Thermotolerance Strategies / K. Adeel, A. Munir, A. Mukhtar, M. I. Hussain // Plants. — 2021. — № 10 (1). — P. 43.
8. Onyemaob, I. Siddique and Guijun Yan Both Male and Female Malfunction Contributes to Yield Reduction under Water Stress during Meiosis in Bread Wheat Front / I. Onyemaobi, L. Hui, H. M. Kadambot // Plant Sci. — 2017.
9. Sensitivity of sorghum pollen and pistil to high-temperature stress / M. Djanaguiraman, R. Perumal, S. V. K. Jagadish, I. A. Ciampitti, R. Welti, P. V. V. Prasad // First published. — 2017.
10. Growing Degree Days and Photoperiod Predict Spring Wheat Phenology? / M. A. Aslam, M. Ahmed, C. O. Stöckle, S. S. Higgins, F. Hassan, R. Hayat // Can Front. Environ. Sci. — 2017.
11. Impacts of 1.5 and 2.0°C global warming on rice production across China / Y. Liu, L. Tang, X. Qiu, B. Liu // Agricultural and Forest Meteorology. — 2020. — № 284(7).
12. Неверов, А. А. Современные тенденции изменения климата в Оренбургской области / А. А. Неверов // Вестник мясного скотоводства. — 2015. - №1 (89). — С. 117-121.
13. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. — Москва : Колос, 1975. — 239 с.
14. Корнилова, А. С. Метод ранговой корреляции Спирмена и его применение / А. С. Корнилова, Р. А. Никонова, Д. А. Дрягина // Современные инновации: теоретический и практический взгляд : материалы VIII Международной научно-практической конференции. — Москва : Проблемы науки, 2018. — С. 52-53.
15. Prajapat, A. L. Thermal requirements of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different growing environments / A. L. Prajapat, R. Saxena // Int. J. Chem. Stud. — 2018. — 6. — P.17–22.
16. Thalmann, M. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress / M. Thalmann, D. Santelia // New Phytol. — 2017. - 214(3). — P. 943-951.

VEGETATION CONDITIONS AND DURATION OF INTERPHASE VEGETATION PERIODS OF SPRING SOFT WHEAT IN DRY CONDITIONS

Besaliev I.N., Panfilov A.L., Reger N.S.

FSBSI Federal Scientific Center of Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences
46000, Orenburg, 9 January st., 29; tel.: 8 (3532) 30-83-47; e-mail: orniish_tzk@mail.ru.

Keywords: spring wheat, air temperature, duration of the vegetation season, productivity, correlation.

The research was carried out on southern carbonate black soil in the central zone of Orenburg region. The aim of the study was to study the relation between the vegetation season duration and the interphase periods of spring wheat and the air temperature regime and productivity. Rise of climate aridity as well as rise of temperature stress on the plant due to lack of precipitation leads to changes in crop phenology towards reduction of the growing season duration. The dependence of wheat yield on average daily and maximum air temperature for interphase periods was studied, their adaptive parameters were specified: for average temperature for the period from germination to earing - 10.5 °C and 19.7 °C for the period from earing to full ripeness. The actual data on duration of the interphase vegetation periods of spring wheat in different years on favourableness are given. Reliable correlations between the yield and the duration of the interfacial periods of the growing season are established. The variety specificity in the studied variants of the experiment is shown. As a result of the study, it was found that the relative duration of the vegetation season for spring wheat in the Orenburg Cis-Urals zone is 91 days with a yield level of 27.4 dt/ha. A sharp (by 15 days) reduction of the growing season duration leads to a yield decrease to 2.8 dt/ha.

Bibliography:

1. Balashov V.V. Productivity of spring durum wheat depending on hydrothermal conditions on light chestnut soils of Volgograd region / V.V. Balashov, A.V. Balashov, K.V. Lyovkina, K.A. Kudina // *Vestnik of Nizhnevolzhsky agro-university complex: science and higher professional education*. - 2017. - № 4 (48). - P. 29-35.
2. Nikitina V.I. Dependence of growing season duration of spring soft wheat varieties on cultivation point of / V.I. Nikitina // *Vestnik of KrasSAU*. - 2019. - № 5 (146). - P. 43-49.
3. Ahmed, K. Phenotyping for drought resistance in bread wheat using physiological and biochemical traits / K. Ahmed, G. Shabbir, M. Ahmed, K.N. Shah, // *Sci Total Environ*. - 2020 Aug 10; 729: 139082. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139082. Epub 2020 Apr 29.
4. Narayanan, S. Effects of high temperature stress and traits associated with tolerance in wheat. / S. Narayanan // *Open Access J Sci*. - 2018. - № 2 (3). - C.177-186.
5. Shavruk, Y. Flowering as a Drought Escape Mechanism in Plants: How Can It Aid Wheat Production? / Y. Shavruk, A. Kurishbayev, S. Jatayev, V. Shvidchenko., L. Zotova, F. Koekemoer, S. Groot, K. Soole, P. Langridge // *Frontiers in Plant Science*. - 2017. - № 17 (8).
6. Fabian, A. Stigma Functionality and Fertility Are Reduced by Heat and Drought Co-stress in Wheat / A. Fabian, E. Safran, G. Szabo-Eitel, B. Barnabas, K. Jäger // *Front Plant Sci*. - 2019. - № 10: 244.
7. Adeel, K. Rising Atmospheric Temperature Impact on Wheat and Thermotolerance Strategies / K. Adeel, A. Munir, A. Mukhtar, M.I. Hussain // *Plants*. - 2021. - № 10 (1). 43
8. Onyemaab, I. Siddique and Guijun Yan Both Male and Female Malfunction Contributes to Yield Reduction under Water Stress during Meiosis in Bread Wheat Front / I. Onyemaab, L. Hui, H. M. Kadambot // *Plant Sci*. - 2017.
9. Djanaguiraman, M. Sensitivity of sorghum pollen and pistil to high-temperature stress / M. Djanaguiraman, R. Perumal, S.V.K. Jagadish, I.A. Ciampitti, R. Welte, P.V.V. Prasad // *First published*. - 2017.
10. Aslam, M.A. Growing Degree Days and Photoperiod Predict Spring Wheat Phenology? / M.A. Aslam, M. Ahmed, C.O. Stöckle, S.S. Higgins, ul F. Hassan., R. Hayat // *Can Front. Environ. Sci*. - 2017
11. Liu, Y. Impacts of 1.5 and 2.0 °C global warming on rice production across China / Y. Liu, L. Tang, X. Qiu, B. Liu // *Agricultural and Forest Meteorology*. - 2020. - № 284 (7)
12. Neverov A.A. Modern tendencies of climate change in Orenburg region / A.A. Neverov // *Vestnik of beef cattle breeding*. - 2015. - № 1 (89). - P. 117-121.
13. Methodology for state variety testing of agricultural crops. - M.: Kolos, 1975. - Issue. 2 - 239 p.
14. Kornilova A.S. Spearman's rank correlation method and its application / A.S. Kornilova, R.A. Nikonova, D.A. Dryagina // *Modern innovations: theoretical and practical view. Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*. M.: Problems of Science. - 2018. - P. 52-53.
15. Prajapat A.L., Saxena R. Thermal requirements of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under different growing environments. *Int. J. Chem. Stud*. 2018; 6: 17-22.
16. Thalmann M., Santelia D. Starch as a determinant of plant fitness under abiotic stress. *New Phytol*. 2017 May; 214 (3): 943-951.