

Растениеводство, защита и биотехнология растений

УДК 633.112.1:631.526.32:581.5 (571.15)

DOI: 10.31857/S2500262721050021

СВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ С ОСНОВНЫМИ АГРОНОМИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СОРТОВ ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ НА АЛТАЕ**М.А. Розова**, кандидат сельскохозяйственных наук,
А.И. Зиборов, кандидат сельскохозяйственных наук, **Е.Е. Егiazарян**Федеральный Алтайский научный центр агrobiотехнологий,
656910, Барнаул, Научный городок, 35
E-mail: mrosova@yandex.ru

Цель исследования – выявить критические периоды формирования продуктивности и параметров качества зерна на видовом и сортовом уровне для обоснования селекционных программ и элементов технологии возделывания твердой пшеницы. Исследования проводили в 2002–2020 гг. на 7 морфо-биологически различных сортах яровой твердой пшеницы. Опыты закладывали по чистому черному пару. Почва участка представлена черноземом выщелоченным среднесуглинистым, малогумусным. Для оценки влияния среднесуточных температур по дням вегетации на изучаемые признаки данные обрабатывали методом скользящей средней за 10-дневные периоды, и среднесуточные показатели отдельных лет синхронизировали относительно дня колошения. Сумма эффективных температур, необходимая для онтогенеза твердой пшеницы составила для среднеранней группы сортов 1270...1639 °С, среднесредней – 1313...1695 °С и среднепозднего сорта – 1395...1781 °С. Корреляция продолжительности вегетации с суммой температур определяется коэффициентом 0,60, с среднесуточной температурой – -0,49. Вклады факторов «год» и «генотип» в варьирование изучаемых признаков достоверны и составляют по урожайности, соответственно, 84,8 % и 14,2 %, содержанию белка – 55,1 % и 42,5 %, клейковины — 39,8 % и 54,7 %. В наибольшей степени выражена отрицательная достоверная зависимость урожайности от среднесуточных температур периода от колошения до спелости, а именно на 2...5 день после колошения ($r \leq -0,53 \dots -0,66$) и с 22 по 32 день после колошения ($r \leq -0,46 \dots -0,60$). Содержание белка и клейковины связано со среднесуточными температурами тех же периодов, что и урожайность, но с противоположным знаком: коэффициент корреляции по белку соответственно 0,45 и 0,46...0,66; по клейковине 0,46...0,52 и 0,47...0,64. Сортвые особенности связи агрономических показателей с температурами слабо выражены по урожайности и значительно по содержанию белка и клейковины.

RELATIONSHIPS OF TEMPERATURE PARAMETERS OF GROWING PERIOD AND MAJOR AGRONOMICALLY VALUABLE TRAITS OF SPRING DURUM WHEAT VARIETIES IN ALTAI**Rozova M.A., Ziborov A.I., Egiazaryan E.E.**Federal Altai Scientific Center of Agrobiotechnologies,
656910, Barnaul, Nauchnyi gorodok, 35
E-mail: mrosova@yandex.ru

Air temperature is among most prominent environmental factors when the formation of yield and quality of durum wheat is considered. The aim of the research was to single out crucial period for the productivity and quality parameters on species and variety levels for the justification of breeding programs and elements of cultivation technology of spring durum wheat. The research was carried out in 2002 – 2020 with 7 durum wheat varieties differed in days to ripeness. Trials were sown after clean black fallow. The soil was leached mid-deep, low-humus blacksoil. To evaluate the effect of air temperatures for each day of growing season temperature data were treated with the procedure of moving means for 10-days periods and were synchronized on the day of heading. The sum of effective temperatures (≥ 10 °C) necessary for spring durum wheat to complete the development made up 1270-1639 °C for mid-early varieties, 1313-1695 °C for mid-ripening and 1395-1781 °C for mid-late varieties. Crop season duration correlated with the sum of temperatures ($r=0,60$) and with day temperature (-0,49). Factors “years” and “genotype” had significant effect on the traits studied. The impact of “years” to the variation of yield was 84,8 %, protein content 55,1 and gluten 39,8 %. Respective impacts of “genotypes” was 14,2, 42,5 and 54,7 %. Mean day and night temperatures during heading-ripeness had negative effect on the yield most of all on the 2nd-5th day after heading ($r \leq -0,53 \dots -0,66$) and later on 22 — 32nd day after heading ($r \leq -0,46 \dots -0,60$). Protein and gluten content correlated with the temperatures of the same periods as yield did but opposite in sign: r for protein content made up 0,45 and 0,46...0,66 respectively; for gluten 0,46...0,52 and 0,47...0,64. Varietal peculiarities in responses to temperatures were weak pronounced for yield and expressed for protein and gluten content.

Ключевые слова: яровая твердая пшеница (*Triticum durum* Desf.), сорт, среднесуточная температура воздуха, сумма эффективных температур, период вегетации, урожайность, содержание белка, клейковина

Key words: spring durum wheat (*Triticum durum* Desf), variety, day and night air temperatures, sum of effective temperatures, growing season, yield, protein and gluten content

Температура внешней среды – один из важнейших факторов жизни растений. Она более стабильно и тесно связана с важнейшими признаками твердой пшеницы, чем осадки [1, 2]. Выделяют два основных критических периода для формирования урожайности твердой пшеницы: колошение–начало выхода в труб-

ку и колошение–цветение [2, 3]. Высокие температуры вызывают снижение фотосинтетического потенциала из-за метаболических нарушений и окислительного повреждения хлоропластов, что приводит к ухудшению накопления биомассы, преждевременному старению листьев и потерям урожая преимущественно

из-за снижения озерненности и крупности зерна [4, 5]. Температурный стресс уменьшает эффективность использования воды растениями [5], но при слабой интенсивности стресса она может не меняться или даже несколько увеличиваться [6]. Выраженное влияние высоких температур на качество зерна наблюдается начиная с его завязывания, что приводит к ограничению накопления крахмала, формированию мелкого зерна и уменьшению выхода муки/крупки. Изменяется соотношение амилозы и амилопектина, что отражается на эластичности теста. Температурный стресс в период налива зерна способствует увеличению содержания белка и клейковины, но ухудшает качество клейковины [6, 7] из-за изменения соотношения глютенины:глиадины и доли высокомолекулярных полимеров, поскольку уменьшается количество ферментов, ответственных за образование дисульфидных связей [7].

Для научного обоснования селекции сортов твердой пшеницы, адаптированных к условиям юга Западной Сибири, необходимо знание комплекса экологических факторов, направлений и силы связи его компонентов с урожайностью и параметрами качества зерна. В связи с этим возникла необходимость в продолжении и расширении исследований, результаты которых были представлены ранее [2], с учетом привязки к конкретным периодам вегетации и сортовой специфики.

Цель исследований – выявить критические периоды формирования продуктивности и параметров качества зерна на видовом и сортовом уровне для обоснования селекционных программ и элементов технологии возделывания твердой пшеницы.

Методика. Материалом для постановки экспериментов послужили среднеранние сорта Алтайская нива, Салют Алтай, Памяти Янченко; среднеспелые – Харьковская 46, Алтайка, Алтайский янтарь и среднепоздний сорт Алейская. Исследования проводили в 2002–2020 гг. по типу конкурсного сортоиспытания в условиях Приобской лесостепи Алтайского края. Полевые эксперименты закладывали по чистому черному пару. Срок посева определяли по готовности почвы. Почва опытного участка чернозем выщелоченный, среднемощный, среднесуглинистый, малогумусный. Посев выполняли преимущественно в первой декаде мая сеялкой ССФК-7, сплошную уборку деелянок – комбайном Сампо 130 и Винтерштайгер Классик. Норма высева 5 млн всхожих зерен на 1 га.

Статистическую обработку данных осуществляли методами дисперсионного и корреляционного анализа по Б. А. Доспехову [8].

Для построения корреляционных кривых, отражающих связь среднесуточных температур с урожайностью, содержанием белка и клейковины, температуры обчисляли с использованием метода скользящей средней за 10-дневные периоды, что позволило уменьшить вклад случайных значений и выявить динамику связей. Для этого температурные значения периода вегетации синхронизировали по дате колошения и определяли максимально возможный период развития твердой пшеницы общий для всех лет (продолжительность всего вегетационного периода, его вегетативной и генеративной фаз, начало и окончание вегетации менялись год от года). А так как эффект температуры зависит от фазы развития растения, мы синхронизировали величину этого показателя по вегетационным периодам разных лет, взяв за точку отсчета начало колошения. Из-за больших различий по датам начала, окончания и продолжительности вегетации отрезок времени для

определения попарных коэффициентов корреляции охватывал период 23 мая ... 1 августа.

Условия Приобской лесостепи Алтайского края характеризуются достаточно высокой суммой положительных (2350...2500 °С) и эффективных температур (2000...2200 °С) [9]. Безморозный период длится 110...120 дней. Среднесуточные температуры по данным Алтайского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды с мая по август составляют 12,1, 17,7, 19,9 и 17,0 °С соответственно. Температура в течение суток сильно меняется: минимальная температура в мае в среднем равна 6,5 °С, максимальная – 20,1 °С, в июне – соответственно 11,6 и 24,3 °С, в июле – 14,0 и 26,3 °С, в августе – 11,6 и 24,3 °С. В период вегетации около 43 % дней солнечных, 52 % облачных, остальные 5 % с пониженной солнечной инсоляцией. Средняя относительная влажность воздуха летних месяцев 62 %. Таким образом, летом в поле пшеница находится под воздействием жаркой и сухой погоды.

Метеоусловия вегетации яровых культур в 2002–2020 гг. по данным Барнаульского пункта наблюдений Алтайского ЦГМС были чрезвычайно разнообразными: от крайне засушливого 2012 г. (урожайность в конкурсном сортоиспытании составила 0,91 т/га) до крайне благоприятных 2009 (4,97 т/га) и 2018 гг. (5,90 т/га).

Результаты и обсуждение. Период вегетации яровых культур, приходящийся на юге Западной Сибири на май–август, проходит на фоне температурного режима, характеризующегося быстрым набором среднесуточных температур в мае. В конце первой декады воздух прогревается до температуры более 10 °С (рис. 1), к появлению всходов она достигает 13...14 °С, а к началу трубкования, в среднем в конце первой декады июня, составляет 17 °С и выше. В течение дальнейшего периода вплоть до второй декады августа среднесуточная температура находится в интервале 18...21 °С, а далее постепенно снижается. Такой фон обеспечивает успешное возделывание в регионе твердой пшеницы благодаря ее филогенетически обусловленной толерантности к пониженным температурам в начале роста и развития и требовательности к теплу в период созревания [10, 11].

Твердая пшеница теплолюбивая культура. Северная граница ее выращивания проходит по изолинии 1600...1700 °С, скороспелой мягкой – 1200...1250 °С [12]. В Западной Сибири в целом за вегетационный период для среднеранних сортов необходима сумма положительных температур 1460...1535 °С, для среднеспелых – 1519...1566 °С, для среднепоздних – 1582...1633 °С [13].



Рис. 1. Среднесуточные температуры вегетационного периода яровой твердой пшеницы (среднее за 2002–2020 гг.).

Табл. 1. Сумма эффективных температур периода вегетации сортов твердой пшеницы (2002–2020 гг.)

| Сорт | Дней до созревания | Сумма эффективных температур периода, °С | | | | |
|------------------|--------------------|--|-------------|--------------|--------------------|----------------------|
| | | всходы – полная спелость | | | всходы – колошение | колошение – спелость |
| | | средняя | минимальная | максимальная | | |
| Среднеранние | | | | | | |
| Алтайская нива | 82 | 1481 | 1263 | 1628 | 675 | 806 |
| Салют Алтай | 81 | 1460 | 1246 | 1644 | 663 | 797 |
| Памяти Янченко | 84 | 1516 | 1300 | 1644 | 709 | 806 |
| В среднем | 82 | 1486 | 1270 | 1639 | 682 | 803 |
| Среднеспелые | | | | | | |
| Харьковская 46 | 84 | 1510 | 1319 | 1679 | 694 | 816 |
| Алтайка | 87 | 1597 | 1319 | 1726 | 777 | 820 |
| Алтайский янтарь | 85 | 1543 | 1300 | 1681 | 750 | 793 |
| В среднем | 85 | 1550 | 1313 | 1695 | 740 | 810 |
| Среднепоздние | | | | | | |
| Алейская | 89 | 1618 | 1395 | 1781 | 778 | 840 |

В условиях наших исследований для завершения вегетации твердой пшеницы в среднем за 19 лет требовалось от 1460 до 1618 °С эффективных температур в зависимости от скороспелости сорта (табл. 1). Для типичных среднеранних сортов Алтайская нива и Салют Алтай эта сумма составила 1481 и 1460 °С соответственно, среднеспелых сортов Алтайка и Алтайский янтарь – 1570 и 1543 °С, а для среднепозднего сорта Алейская – 1618 °С. Сорта Памяти Янченко и Харьковская 46 по накопленной сумме эффективных температур занимали промежуточное положение между среднеранними и среднеспелыми – соответственно 1516 и 1510 °С. Сумма температур значительно менялась по годам – в среднем по сортам от 1306 до 1675 °С при общем варьировании в интервале 1246...1781 °С. Эта величина положительно и достоверно связана с продолжительностью периода вегетации твердой пшеницы в отдельные годы ($r=0,60$, по сортам $0,56...0,68$). За 2002–2020 гг. в среднем по сортам продолжительность периода всходы–полная спелость составила 85 дней с варьированием по годам от 74 до 98 дней.

Рассматривая вопросы потребности твердой пшеницы в сумме эффективных температур или соответствия условий зоны для ее возделывания, целесообразно ориентироваться на величины от средней за многолетний период до максимальной, так как крайние минимальные значения наблюдаются редко и выходят за рамки нормального распределения. У сортов Памяти Янченко, Алтайка, Алтайский янтарь и Алейская минимальная за годы исследований сумма эффективных температур отстояла от ближайшего последующего на 85...110 °С, что намного больше, чем между всеми другими парами значений. Поэтому для возделывания среднеранних сортов референтными можно считать суммы 1486...1639 °С, для среднеспелых – 1550...1695 °С, для среднепоздних – 1618...1781 °С.

Отмеченные суммы эффективных температур отличаются от данных по Омску [13] как по минимальному, так и максимальному значению. Это можно объяснить

меньшей продолжительностью эксперимента в Омске (7 лет). Кроме того, в этой работе приводятся данные по положительным температурам, а в нашем исследовании – по эффективным, хотя различия между ними в Приобской лесостепи Алтайского края небольшие – в среднем за 2002–2020 гг. – 27 °С, по годам – от 0 до 74 °С.

В условиях опыта в среднем за годы изучения всходы появлялись 16...17 мая с разбросом значений в интервале 8.05...25.05, колошение наступало 29 июня (24.06...8.07), а полная спелость – 9 августа (27.07...23.08). Период посев–всходы составлял 7...16 дней и в среднем был равен 11,5 дням. Такая его продолжительность, даже с учетом более длительного набухания зерна твердой пшеницы, по сравнению с мягкой, достаточно убедительно свидетельствует о слабом прогреве почвы к посеву. В среднем за первую декаду мая 5 дней характеризовались температурами ниже 10 °С (по годам от 2 до 9 дней), еще 4 таких дня (от 0 до 11) отмечали после появления всходов. Путем корреляционного анализа установлена средняя отрицательная достоверная связь между продолжительностью прорастания и среднесуточными температурами мая ($r=-0,68$), а также со сроком посева ($-0,61$).

Длительность вегетации зависела от суммы положительных и среднесуточной температуры. При этом корреляция с суммой температур была положительной, а со среднесуточной – отрицательной. Чем больше дней развивались растения, тем выше была сумма температур и чем выше среднесуточная температура, тем быстрее развивались растения и сильнее сокращалась продолжительность вегетации. Длительность вегетационного периода имеет связь с суммой температур, описываемую коэффициентом корреляции $0,60$, и со среднесуточной температурой ($r=-0,49$). При этом на общую протяженность вегетации больший эффект оказывает протяженность периода колошение – полная спелость ($r=0,80$), тогда как связь с длительностью периода до колошения характеризуется значительно бо-

Табл. 2. Корреляция продолжительности вегетационного периода твердой пшеницы с температурными показателями

| Коррелирующие признаки | Коэффициент корреляции | |
|--|---|--------|
| Продолжительность вегетационного периода | сумма температур периода вегетации | 0,60* |
| | среднесуточная температура периода вегетации | -0,49* |
| Продолжительность периода всходы–колошение | среднесуточная температура периода всходы–колошение | -0,66* |
| | сумма температур всходы–колошение | 0,01 |
| Продолжительность периода колошение–спелость | среднесуточная температура периода колошение–спелость | -0,92* |
| | сумма температур колошение – спелость | 0,90* |
| Продолжительность вегетационного периода | продолжительность периода всходы – колошение | 0,32 |
| | продолжительность периода колошение – спелость | 0,80* |
| Продолжительность периода всходы–колошение | продолжительность периода колошение – спелость | -0,31 |

* достоверно при уровне значимости 0,05.

лее низким коэффициентом ($r=0,32$). Среднесуточные температуры достоверно коррелируют с продолжительностью как вегетативного ($r=-0,66$), так и генеративного ($r=-0,92$) периода развития твердой пшеницы. Сумма температур достоверно положительно тесно связана только с продолжительностью периода от колошения до созревания ($r=0,90$). Количество дней от всходов до колошения не зависит от суммы температур, так как в мае при невысокие их величинах развитие пшеницы замедляется, а в июне при климатической норме ускоряется (табл. 2).

За 2002–2020 гг. урожайность как отдельных генотипов, так и средняя по опыту менялась в широком

Табл. 3. Урожайность сортов яровой твердой пшеницы (2002–2020 гг.)

| Сорт | Средняя | Минимальная | Максимальная | CV, % |
|-------------------|---------|-------------|--------------|-------|
| Алтайская нива | 3,44 | 0,91 | 5,33 | 28,7 |
| Салют Алтай | 3,50 | 0,84 | 5,36 | 29,8 |
| Памяти Янченко | 3,75 | 1,10 | 5,65 | 26,6 |
| Харьковская 46 | 3,13 | 0,77 | 5,13 | 31,2 |
| Алтайка | 3,23 | 0,67 | 5,35 | 29,9 |
| Алтайский янтарь | 3,73 | 0,91 | 5,66 | 28,2 |
| Алейская | 3,67 | 1,17 | 5,66 | 28,2 |
| В среднем | 3,50 | 0,91 | 5,16 | 27,9 |
| НСР ₀₅ | 0,18 | | | |

диапазоне и в среднем по набору сортов варьировала от 0,91 до 5,45 т/га (табл. 3). Самую низкую величину этого показателя наблюдали только однажды – в 2012 г. Второе после него значение 2,19 т/га дает начало распределению урожайности, близкой по частоте к статистически нормальному.

Основную роль в дисперсии урожайности играли условия лет исследований – доля вклада равна 84,8 %. Вклад сорта в изменчивость признака также был достоверным и оценивался в 14,2 %. Наименее урожайными были самые старые сорта – Харьковская 46 и Алтайка (см. табл. 3), которые вместе с сортом Салют Алтай характеризовались самыми высокими коэффициентами вариации ($CV=29,8...31,2\%$). Среди изучаемого набора по уровню и стабильности урожайности наиболее предпочтительно выглядел сорт Памяти Янченко. При самой высокой средней урожайности (3,75 т/га) у него был наименьший коэффициент вариации – 26,6 %.

Коэффициенты корреляции урожайности и температурных переменных варьировали от слабых до средних: с суммой температур за вегетацию – 0,36, со средней температурой за вегетационный период – -0,22, с суммой температур периода всходы–колошение – 0,35, с суммой температур периода колошение–спелость – 0,22, со среднесуточной температурой первой половины вегетации – 0,12. Статистически значимая связь отмечена только со среднесуточной температурой периода колошение–спелость – -0,49. Это объясняется тем, что корреляции с температурными параметрами столь продолжительных периодов нивелируют переменчивые эффекты температуры на растения в ходе онтогенеза.

При использовании для решения этой проблемы метода скользящих средних за 10-дневные периоды (см. рис. 1) связь среднесуточных температур с урожайностью твердой пшеницы была достаточно близкой по сортам – все они положительно реагировали на повышение температуры в начале вегетации. При этом у более раннеспелых сортов Салют Алтай и Алтайская нива, а также Харьковской 46 корреляция была не существенной. Самый продолжительный период положительного воздействия температур отмечен у наиболее позднего сорта Алейская – 6 дней при $r=0,49...0,59$ ($p=0,05$). У других сортов он составлял 2...3 дня и приходился на последнюю декаду мая. Коэффициент корреляции менял знак с положительного на отрицательный при переходе температур на более высокие значения в конце первой декады июня. Их повышение во время колошения, цветения, начала образования и формирования зерна негативно влияло на размеры урожая. У всех сортов кроме Алейской указанный период продолжался 6...7 дней, а корреляция температур с урожайностью была достоверной ($r=-0,46...-0,75$). По времени наступления этих периодов сорта несколько различались, причем у более ранних он начинался позже (1 июля), а у среднеспелых и среднепоздних – 27...28 июня. Механизм воздействия температуры на урожайность понятен и связан со снижением количества фертильных цветков то есть озёрнённости колоса, а также массы 1000 зерен [2].

Следующий период чувствительности к температурам у Алейской начинается через 17 дней, у других сортов – через 15 дней. Он наиболее длительный, охватывает от 9 до 15 дней и характеризуется достоверными коэффициентами корреляции -0,46...-0,65. К этому времени твердая пшеница достигает фазы молочной спелости, а среднесуточные температуры приближа-

ются к 19...20 °С и, согласно полученным данным, растения достаточно четко реагируют на повышение температуры вследствие сдерживания процессов реутилизации запасных веществ и их оттока в колос [5].

Среднесуточные температуры за изучаемый период времени даже в наиболее жаркие месяцы (июль, реже июнь) находились на уровне от 17 до 21 °С, хотя в отдельные годы достигали 25...28 °С, а максимальная дневная температура – 35...38 °С. При этом отчетливо проявлялось их негативное влияние с фазы выхода в трубку и далее. Это расходится с данными Fagoog et al. [7] по влиянию температур в период после цветения, согласно которым к оптимальной во время цветения отнесена температура 23,0±1,2 °С, максимальной – 32,0±1,7 °С и минимальной – 9,7±0,4; для налива зерна – соответственно 21,3±1,3, 34,3±2,7 и 9,6±0,8 °С. Следовательно, температуры Приобской лесостепи Алтайского края должны быть благоприятны для пшеницы. Возможно, установленное негативное воздействие связано с большой разницей между дневными и ночными температурами (при ясной погоде до 15 °С) и их значительной изменчивостью. Так, в 2012 г. в 25 из 74 дней вегетации дневные температуры достигали 30 °С и выше, что привело к сильному сокращению периода вегетации, формированию слабой биомассы посевов и урожайности зерна на уровне 0,91 т/га. Возможно, что в условиях короткого вегетационного периода яровой пшеницы в Сибири уровень стрессовых температур ниже, чем при более длительной вегетации.

Результаты анализа средней по набору сортов реакции на среднесуточную температуру по зерновой продуктивности свидетельствуют, что она оказывает статистически значимое негативное влияние ($r \leq -0,46$) в первые 5 дней после колошения, охватывающие цветение и начало завязывания зерна, а также с 22 по 32 день после колошения, то есть при наступлении молочной спелости (рис. 2).

Величина важнейшего показателя качества зерна твердой пшеницы – содержание белка в зерне, в условиях Приобской лесостепи Алтайского края достигала 14,9 % с варьированием по годам от 13,3 до 17,3 %, а по сортам за годы изучения – от 14,0 до 15,6 % (табл. 4). Согласно результатам дисперсионного анализа годы и генотипы вносили достоверный вклад в изменчивость содержания белка – соответственно 55,1 % и 42,5 %. Высокий вклад генотипов в изменчивость показателей качества отмечают и другие исследователи [1, 14]. Среди сортов с наибольшим содержанием белка выделяются Салют Алтай, Харьковская 46, Алтайская нива

Табл. 4. Содержание белка в зерне и клейковины в муке сортов твердой пшеницы (2002–2020 гг.), %

| Сорт | Содержание белка | | | | Содержание клейковины | | | |
|-------------------|------------------|------|------|-----|-----------------------|------|------|------|
| | x | min | max | CV | x | min | max | CV |
| Алтайская нива | 15,0 | 13,5 | 18,2 | 7,3 | 31,7 | 27,2 | 37,8 | 8,5 |
| Салют Алтай | 15,6 | 13,7 | 18,4 | 8,9 | 34,2 | 29,5 | 41,4 | 9,6 |
| Памяти Янченко | 15,0 | 14,0 | 16,8 | 6,9 | 31,4 | 26,0 | 36,3 | 7,6 |
| Харьковская 46 | 15,4 | 13,3 | 17,9 | 7,9 | 34,7 | 25,9 | 39,7 | 10,4 |
| Алтайка | 14,9 | 12,0 | 17,9 | 8,7 | 33,2 | 26,8 | 37,2 | 8,6 |
| Алтайский янтарь | 14,3 | 12,4 | 17,3 | 8,9 | 32,0 | 26,1 | 39,0 | 10,9 |
| Алейская | 14,0 | 12,3 | 16,2 | 8,3 | 30,2 | 24,5 | 35,4 | 9,7 |
| В среднем | 14,9 | 13,3 | 17,3 | 7,3 | 32,5 | 27,8 | 36,2 | 7,0 |
| НСР ₀₅ | 0,4 | | | | 1,4 | | | |

и Памяти Янченко. У более поздних сортов величина этого показателя ниже. Признак связан обратной зависимостью с продолжительностью периода вегетации ($r = -0,47$). При этом корреляция с длительностью периода всходы–колошение оценивается коэффициентом, равным -0,08, колошение–спелость – -0,42. С урожайностью связь содержания белка достоверная и отрицательная – -0,63. Обратный характер связи этих признаков просматривается и через симметрично противоположные кривые корреляций со среднесуточными температурами (см. рис.2).

Сумма температур, как в целом за период вегетации, так и за вегетативную и генеративную фазы оказывала слабое влияние на содержание белка – коэффициенты корреляции составляли соответственно -0,27, -0,15 и -0,26. Белковость была достоверно связана со среднесуточной температурой воздуха только в период колошение–полная спелость ($r = 0,56$), для всего периода вегетации коэффициент корреляции был равен 0,25, периода всходы–колошение – -0,07. Температура наиболее важна для формирования белка в период цветения, образования завязи и на 16 день после колошения (15 июля), когда заканчивается формирование зерна и начинаются процессы созревания. Так как мы использовали десятидневные скользящие средние, то значение 15 июля соответствует среднему за период с 13 по 22 июля. Важность температуры для накопления белка в период колошения и цветения можно объяснить ее негативным воздействием на массу 1000 зерен [2, 7], снижение которой сопровождается увеличением доли белка. Отмеченные корреляционные связи согласуются с данными по накоплению белка в зерне после колошения [15].

Коэффициенты корреляции, установленные по результатам анализа связи содержания белка в зерне твердой пшеницы со среднесуточными температурами с привязкой к фазе колошения, отличаются от рассчитанных ранее на календарной основе [2]. При этом подходе отмечено значение температуры в начале цветения, которое было нивелировано при расчёте на «календарной» основе. Тем не менее, и в этом исследовании не удалось избежать всех погрешностей, вызванных разницей сроков посева, всходов, продолжительности вегетационного периода и завершения

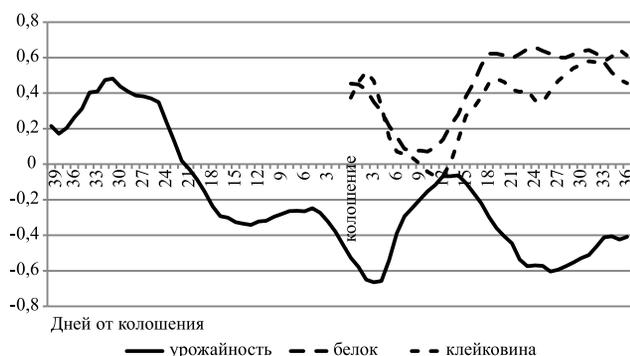


Рис. 2. Корреляционная связь среднесуточных температур с урожайностью, содержанием белка и клейковины твердой пшеницы.

вегетации. Однако они снизились, относительно простого календарного подхода.

Сортовые реакции на среднесуточные температуры по содержанию белка имеют определенную параллельность и специфичность. Так, согласно максимальному значению коэффициента корреляции наиболее выраженная реакция у среднеранних сортов Алтайская нива, Салют Алтая и Памяти Янченко наступает позже, и она слабее, чем у сортов других групп. Алтайская нива и Салют Алтая максимально реагируют на температуры во время колошения и последующих 4...5 дней. Первые два дня важны и для сорта Алтая. Для других сортов значимость этой фазы не подкреплена статистически. Второй период существенного влияния температур у среднеранних сортов наступает на 24 день после колошения, у среднеспелых примерно – на 15 день, у среднепозднего сорта Алейская – на 13 день. Наиболее высокие достоверные коэффициенты корреляции между содержанием белка и среднесуточной температурой отмечены у сортов Алтая (0,52...0,74) и Алтайский янтарь (0,54...0,70). Сорт Памяти Янченко, который достаточно стабильно формирует зерно с высоким содержанием белка, демонстрирует определенную толерантность к температурам, так как коэффициенты корреляции у него ниже, а значимый период охватывает только 5 дней (рис. 3).

Содержание клейковины в муке твердой пшеницы за годы исследования варьировало в пределах 27,8 ... 36,2 % и в среднем по опыту составляло 32,5 % (см. табл.4). Результаты дисперсионного анализа показали достоверность вкладов факторов «сорт» (54,7 %) и «год» (39,8 %). Меньше всего клейковины отмечено в зерне сорта Алейская – 30,2 % (по годам от 24,2 до 34,8 %), больше всего у сортов Харьковская 46 – 34,7 % (25,9...39,7 %) и Салют Алтая – 34,2 % (29,5...41,4 %). Содержание клейковины понижалось от среднеранних к среднепоздним сортам и имело достоверную отрицательную корреляцию с продолжительностью вегетации в ряду лет – $r = -0,56$. Связь с суммой температур за вегетационный период была отрицательной и равной -0,27, за период всходы–колошение – -0,02, колошение–спелость – -0,40. Корреляции со средними температурами соответствующих периодов, наоборот, были положительными – соответственно 0,37; 0,12 и 0,41. Направление корреляций содержания клейковины со

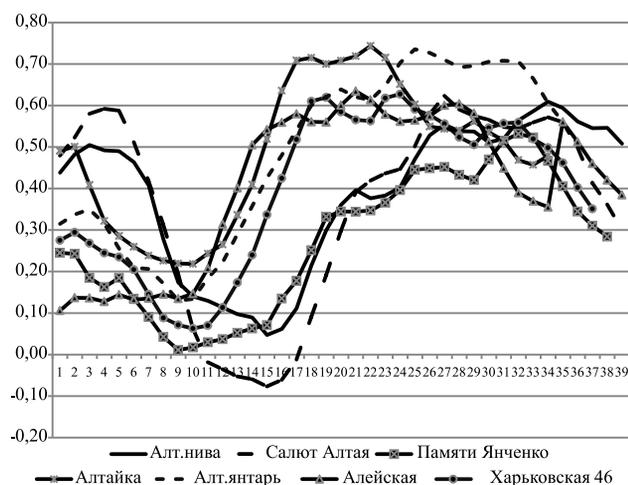


Рис. 3. Корреляция содержания белка сортов твердой пшеницы с среднесуточными температурами генеративной фазы.

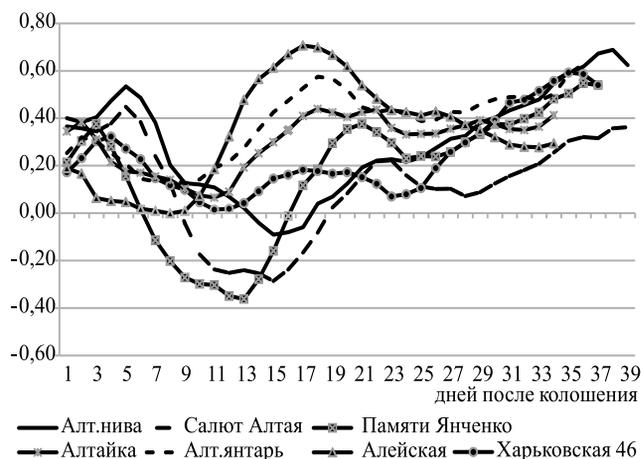


Рис. 4. Корреляционные связи содержания клейковины сортов твердой пшеницы с среднесуточными температурами генеративной фазы развития.

среднесуточными температурами аналогично таковым для белка, но они меньше по величине (рис. 4). В целом экспрессия признака «содержание клейковины» и его детерминированность более сложна, что отражается в повышенной специфичности корреляционных кривых отдельных сортов. Среднеранние сорта Алтайская нива, Салют Алтая и Памяти Янченко имеют большее сходство по динамике корреляционных связей. А у сортов Салют Алтая и Алтая коэффициенты корреляции ниже уровня достоверности. У сортов Алтайская нива, Памяти Янченко и Харьковская 46 коэффициенты корреляции выше 0,46 получены для температур на 30-й и последующие дни после колошения. При этом Алтайская нива восприимчива к температурам на 3...5 день. Сорта с невысоким содержанием клейковины Алтайский янтарь и Алейская имеют продолжительные периоды, когда температура влияет на содержание клейковины – 15 и 10 дней. У сорта Алтайский янтарь это 15...18 и 28...35 день после колошения, у Алейской – 12...21 день (см. рис. 4).

Таким образом, сумма эффективных температур периода вегетации твердой пшеницы на Алтае в 2002–2020 гг. составила для среднеранней группы сортов 1486 °С с варьированием по годам 1270 ... 1639 °С; для средне-спелой – соответственно 1550 °С и 1313 ... 1695 °С и для позднеспелого сорта – 1618 °С и 1395 ... 1781 °С.

Температурные показатели оказывали влияние на продолжительность фаз развития твердой пшеницы. В период посева и в начале появления всходов твердая пшеница испытывает нехватку температур, что приводит к позднему появлению всходов. Коэффициент корреляции продолжительности прорастания со среднесуточными температурами мая был равен -0,68, со сроком посева – -0,61. Корреляция длительности вегетации с суммой температур средняя положительная ($r = 0,60$, по сортам 0,56...0,68), со среднесуточной температурой – отрицательная (-0,49). Среднесуточные температуры имеют достоверную связь с продолжительностью как вегетативного (-0,66), так и генеративного периода развития твердой пшеницы (-0,92). Сумма температур тесно достоверно положительно коррелирует только с продолжительностью периода колошение–спелость (0,90).

Вклад температур в дисперсию урожайности, содержания белка и клейковины составлял соответствен-

но 84,8, 55,1 и 39,8 %; генотипов – 14,2, 42,5 и 54,7 %. Корреляция урожайности с суммой температур и средней температурой как в целом за вегетацию, так и отдельно за вегетативный и генеративный этапы развития невысокая – от -0,22 до 0,36, за исключением взаимосвязи со среднесуточными температурами периода колошения–полная спелость ($r=-0,49$). Статистически доказанное негативное влияние температуры оказывают во время колошения, цветения и начала завязывания зерна, а также в течение 10 дней после наступления молочной спелости. Сортвые особенности по корреляционным связям выражены слабо.

Взаимосвязь содержания белка и клейковины со среднесуточными температурами, начиная с фазы колошения и далее, прямо противоположна таковой для урожайности. На величины этих показателей положительное влияние оказывают температуры во время цветения (2...4 день после колошения) и в период молочной спелости (17...33 день). Корреляционные кривые отдельных сортов обладают специфичностью.

Литература.

1. Heat and drought stress on durum wheat: responses of genotypes, yield and quality parameters / Y.-F. Li, Y. Wu., N. Fernandez-Espinosa, et al. // *Journal of cereal science*. 2013. Vol. 57. P. 398–404.
2. Розова М. А., Янченко В. И., Мельник В. М. Экологическая пластичность яровой твердой пшеницы в условиях Алтая: монография. Барнаул: Азбука, 2010. 151 с.
3. Евдокимов М. Г., Юсов В. С. Зависимость урожайности яровой твердой пшеницы и ее компонентов от метеофакторов в условиях лесостепной зоны Западной Сибири // *Доклады РАСХН*. 2005. №1. С. 10–13.
4. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases / M. Farooq, H. Bramley, J. A. Palta, et al. // *Crit. Rev. PlantSci.*, 2011. Vol. 30. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07352689.2011.615687> (дата обращения: 15.02.2021). doi: 10.1080/07352689.2011.615687.
5. Akter N., Islam M. R. Heat stress effect and management in wheat. A review // *Agron. Sustain. Dev*. 2017. Vol. 37. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0443-9> (дата обращения: 10.02.2021).
6. Effect of natural factors and management practices on agricultural water use efficiency under drought: A meta-analysis of global drylands / L. Yu, X. Zhao, X. Gao, et al. // *Journal of hydrology*. 2021. Vol. 594. No. 3. Art.№ 125977. URL: <https://research-repository.uwa.edu.au/en> (дата обращения 15.03.2021). doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.125977.
7. Реализация генетического потенциала сортов мягкой пшеницы под влиянием условий внешней среды: современные возможности улучшения качества зерна и хлебопекарной промышленности (обзор) / Е. К. Хлесткина, Е. В. Журавлева, Т. А. Пшеничникова и др. // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. № 3. С. 501–514. doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.501rus.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. Агроклиматические ресурсы Алтайского края / отв. редактор М. И. Черников. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 155 с.
10. Пальмова Е. Ф. Введение в экологию пшеницы. М., Л.: ОГИЗ. СЕЛЬХОЗГИЗ, 1935. 75 с.
11. Савицкая В. А., Синицын С. С., Широков А. А. Твердая пшеница в Сибири. М.: Колос, 1980. 184 с.
12. Яровая пшеница / А. И. Бараев, Н. М. Бакаев, М. Л. Веденеева и др. М.: Колос, 1978. 429 с.
13. Евдокимов М. Г., Юсов В. С. Яровая твердая пшеница в Сибирском Прииртышье. Омск: «Сфера», 2008. 160 с.
14. Environmental modification of wheat grain protein accumulation and associated processing quality: a case study of China / L. Kong, J. Si, B. Zhang, et al. // *Australian J. Crop Sci*. 2013. Vol. 7. No. 2. P. 73–181.
15. Головоченко А. П., Киселева М. Ю. Роль абиотических факторов в формировании белка яровой пшеницы в Средневолжском регионе // *Сб. научн. тр. «Актуальные вопросы агрономической науки в XXI веке»*. Самара: Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2004. С. 430–435.

Поступила в редакцию 15.03.2021
После доработки 19.05.2021
Принята к публикации 25.07.2021