

На правах рукописи

Утебаев Марал Уралович

**ВЛИЯНИЕ АЛЛЕЛЕЙ ГЛИАДИН- И ГЛЮТЕНИНКОДИРУЮЩИХ
ЛОКУСОВ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
Triticum aestivum L.**

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва 2023

Работа выполнена на кафедре ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень, Россия) и на базе ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (п. Шортанды, Казахстан)

Научный руководитель: **Боме Нина Анатольевна**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующая кафедрой ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет».

Официальные оппоненты: **Темирбекова Сулухан Кудайбердиевна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией по селекции на устойчивость к абиотическим и биотическим стрессовым факторам ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии».

Пшеничникова Татьяна Алексеевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник сектора генетики качества зерна ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения РАН».

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья».

Защита состоится «28» июня 2023 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.030.08 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8(499)976-21-84.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета: <http://www.timacad.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.08
доктор сельскохозяйственных наук, доцент



Е.А. Вертикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. Обеспечение продовольственной безопасности в условиях меняющегося климата является одной из глобальных проблем, в связи с этим, необходим комплексный подход в селекции пшеницы с использованием максимально информативных и современных методов. На сегодняшний день селекционерам предложена стратегия «*5Gs for crop genetic improvement*», которая предполагает применение различных методов для улучшения сельскохозяйственных культур (Varshney et al., 2020). Одним из пунктов ее реализации является наиболее полное изучение генофонда на уровне генов и хозяйственно-ценных признаков. При этом, данные методы должны обладать по возможности низкой себестоимостью и высокой информативностью. Такие исследования в процессе селекции пшеницы на качество зерна возможны с применением метода электрофореза запасных белков – глиадинов и глютеинов.

Степень разработанности темы исследования. Генетический контроль синтеза глиадинов осуществляется аллельными генами, локализованными в локусах хромосом 1 и 6 гомеологических групп геномов А, В и D (Shepherd, 1968). Глютеины контролируются генами, расположенными на длинном плече хромосом 1А, 1В и 1D (Payne et al., 1980). Электрофорез глиадинов и глютеинов позволил выявить наследование компонентов в виде блоков (Созинов и др., 1987). Запасные белки являются основными структурными единицами, образующими клейковинный комплекс. Поиск и установление связей аллелей локусов *Gli* с количественными признаками пшеницы были начаты в начале 70-х годов XX века (Finney, 1971; Preston et al., 1975). Необходимо отметить, что поиск сопряженности аллелей с изменчивостью количественных признаков пшеницы связан с определёнными трудностями, так как эти признаки сильно зависят от условий выращивания, а многие из них носят полигенный характер. Так, аллели локусов *Gli-1*, влияют на хлебопекарное качество (Li et al. 2009; Novoselskaya-Dragovich et al., 2013; Demichelis et al. 2019), а наличие конкретных блоков глиадинов 1А3 (или 1А4), 1В1, 1D1 (или 1D5), 6А3, 6В1 и 6D1 (или 6D2) связано с засухо-морозоустойчивостью и качественной клейковиной (Metakovsky et al., 1997). С другой стороны, отдельные фракции глиадинов, как например γ -глиадины влияют на время замеса теста, тогда как α -, β - и ω -глиадины сопряжены с высотой хлеба и общим хлебопекарным качеством (Ohm et al., 2010; Malalgoda, 2018). Глиадины влияют не только на биохимические и технологические признаки, но и на некоторые морфологические признаки, такие как длина колоса и озерненность (Хрунов, 2011), а также на устойчивость к листовой, стеблевой ржавчине (Czarnecki et al., 1992; Cox et al., 1994) и мучнистой росе (Hsam et al., 2015). Однако, по результатам других авторов, влияние глиадинов на параметры качества пшеницы может быть слабым или вовсе отсутствовать (Khatkar et al., 2002; Пискарев, Бойко, 2015). Высокомолекулярные субъединицы глютеина (ВМСГ) влияют на некоторые параметры качества зерна (Carrillo et al., 1990; Sontag-Strohm et al., 1996). Например, пара ВМСГ *1Dx5-1Dy10* локуса *Glu-D1* положительно влияют на хлебопекарное качество, тогда как присутствие субъединиц *1Dx2-1Dy12* снижают качество готовой продукции (Hamer et al., 1992). Однако, большинство качественной пшеницы Индии (Kalaiselvi et al., 2018), Турции (Temizgul et al., 2016), Саратова и Омска (Rabinovich et al., 1998) чаще содержат ВМСГ *1Dx2-1Dy12*, к тому же, есть

предположение о возможной связи данной пары субъединиц с засухоустойчивостью (Dobrotvorskaya and Martynov, 2011). Влияние ВМСГ на хлебопекарные свойства подтверждается результатами исследования, в котором замена *1Ax-null* на *1A2** привела к улучшению качества хлеба (Mansur et al., 1990). Так же, отсутствие субъединицы *1Bx7*, которая оценивается низким баллом по шкале Пейна (Lukow et al., 1989), способствует ухудшению качества теста (Chen et al., 2019). Такие противоречивые результаты способствуют более глубокому изучению влияния компонентов глиадина и глютеина на параметры качества хлебопекарной пшеницы. При этом необходимо учитывать, что климатические условия являются мощным корректирующим фактором на качественные показатели зерна пшеницы.

Установленные связи компонентного состава глиадинов и глютеинов в основном представлены на примере иностранных сортов, тогда как применение белковых маркеров для изучения, идентификации и поиска связей компонентов глиадина и глютеина с отдельными элементами качества зерна мягкой пшеницы, произрастающей в условиях Северного Казахстана и Западной Сибири, недостаточно отражены в литературе. К тому же, весьма актуальными остаются вопросы связей глиадина и глютеина и их сочетаний с качеством зерна в контрастных и меняющихся условиях среды.

Цель работы – идентификация и изучение полиморфизма глиадина и высокомолекулярных субъединиц глютеина яровой мягкой пшеницы западно-сибирской и северо-казахстанской селекции, выявление связей аллелей глиадин-глютеинкодирующих локусов с отдельными элементами качества зерна в условиях Акмолинской (Северный Казахстан) и Тюменской (Северное Зауралье, Западная Сибирь) областей.

Задачи работы:

1. Идентифицировать сорта и линии яровой пшеницы северо-казахстанской и западно-сибирской селекции по аллелям глиадин- и глютеинкодирующих локусов.
2. Выявить связь компонентного состава глиадина и глютеина с биохимическими и технологическими признаками, характеризующими качество зерна.
3. Оценить сорта яровой пшеницы по биохимическим признакам зерна, физическим свойствам теста и хлебопекарным параметрам, выделить и рекомендовать для практической селекции генотипы, обладающие селекционно-ценными признаками в условиях Акмолинской (Северный Казахстан) и Тюменской (Северное Зауралье, Западная Сибирь) областей.

Научная новизна работы. Впервые исследован полиморфизм глиадин- и глютеинкодирующих локусов 201 сортов и линий яровой мягкой пшеницы Северного Казахстана и Западной Сибири, на основе нативного и денатурирующего электрофореза глиадинов и глютеинов, составлены их генетические формулы. Идентифицированы аллели глиадина: *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q*, *Gli-B2t*, *Gli-D2q*, характерные для пшеницы Северного Казахстана. Установлено, что аллели *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q* присутствуют в генотипах с повышенными качественными признаками зерна, муки и хлеба. Для сортов пшеницы Западной Сибири выявлены типичные ассоциации аллелей глиадина – *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a+b*, *Gli-A2l+m*, *Gli-B2o+r*, *Gli-D2q+a*. Показано достоверное отличие северо-казахстанских от западно-сибирских сортов пшеницы по локусам глиадина: *Gli-A1*, *Gli-B1*, *Gli-A2*, *Gli-*

B2, *Gli-D2* и локусу глютеина *Glu-B1*. Впервые в условиях Северного Казахстана выявлены связи аллелей глютеина: *Glu-A1b* с содержанием клейковины и *P/L* (отношение упругости к растяжимости теста); *Glu-B1c* – с валориметрической оценкой; *Glu-D1a* и *Glu-D1d* – с отношением *P/L*. Впервые в результате экологического сортоиспытания в условиях Тюменской (Западная Сибирь, подтаежная зона) и Акмолинской (Северный Казахстан, подзона засушливой степи) областей подобраны сорта яровой мягкой пшеницы с высокими показателями качества зерна селекции НИИСХ Северного Зауралья (г. Тюмень, Россия) и НПЦЗХ им. А.И. Бараева (п. Шортанды, Казахстан). Показана эффективность тестирования и отбора генотипов по биохимическим и технологическим признакам качества зерна. Выделенные сорта тюменской селекции: Икар, СКЭНТ-3 и Аделина по показателям физических свойств зерна, теста и хлебопекарной оценке, в условиях Акмолинской области соответствовали категории «удовлетворительный улучшитель». Сорта Шортандинская 2014 и Шортандинская 95 улучшенная отличались стабильностью при формировании биохимических и технологических показателей качества зерна на уровне улучшителей в условиях Акмолинской и Тюменской областей.

Теоретическое значение полученных результатов. Представленные результаты вносят вклад в расширение знаний о генах запасных белков, локализованных в локусах *Gli* и *Glu*. Установленные связи глютеина и глиаина с биохимическими и технологическими признаками позволяют выявить и рекомендовать исходный материал яровой мягкой пшеницы для практической селекции, а также служить критерием отбора на качество зерна. Составленные генетические формулы глиаина и глютеина могут быть использованы в идентификации сортов и определении их сортовой чистоты. При проведении испытания сортов в различных агроэкологических условиях наряду с традиционными признаками продуктивности, следует учитывать аллельный состав глиадин- и глютеинкодирующих локусов, связанных с показателями качества зерна.

Практическое значение полученных результатов. Метод электрофореза запасных белков используется в семеноводстве и в исследовательской работе лаборатории биохимии и технологической оценки качества сельскохозяйственных культур НПЦЗХ им. А.И. Бараева, а также в учебном процессе Института биологии Тюменского государственного университета по направлению 06.04.01 Биология (Биотехнология). Получено, авторское свидетельство на сорт яровой мягкой пшеницы: Таймас (№ 748 от 20 апреля 2022 г) и удостоверение автора (№ 4680) к патенту № 995 от 10.01.2022 г на сорт яровой мягкой пшеницы Аль-Фараби 2020.

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование выполнено с применением стандартизированных и общепринятых физических, биохимических методов изучения качественных характеристик зерна, а также с помощью современного метода, основанного на полимеразно-цепной реакции (ПЦР) при идентификации генов глютеина. Методы исследования в полном объеме представлены в разделе диссертации «Материалы и методы».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. На основе метода электрофореза (нативный и SDS) запасных белков изучен и описан полиморфизм глиадин- и глютеинкодирующих локусов в сортах и линиях яровой мягкой пшеницы северо-казахстанской и западно-сибирской селекции.

2. Аллели глина: *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q* и глютелина: *Glu-A1b*, *Glu-B1c*, *Glu-D1a* и *Glu-D1d* чаще встречаются в образцах пшеницы с повышенными показателями качества зерна.

3. Выявлены сорта яровой мягкой пшеницы, устойчиво формирующие зерно с высоким качеством в различных агроклиматических условиях, что позволяет рекомендовать их для использования в селекционно-генетических программах в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана.

Личный вклад соискателя. На всех этапах исследования автор принимал личное участие. Соискателем изучены научные труды, посвященные теме исследования, освоены методы анализа, проведена математическая обработка полученных результатов, сформулированы выводы и написана диссертация. Соискатель является соавтором 2 сортов яровой мягкой пшеницы, которые включены в государственный реестр селекционных достижений Республики Казахстан.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов подтверждается повторяемостью анализов, выполненных с помощью научного оборудования при минимальном влиянии человеческого фактора. Анализы проведены на основе стандартных и общепринятых методик. Выводы подкреплены экспериментальными данными, которые статистически обработаны и приведены в таблицах и рисунках. Основные результаты представлены на международных научных конференциях и рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК РФ и МБД (Scopus и Web of Science).

Апробация результатов работы. Результаты работы были представлены на XV Всероссийской международной научно-практической конференции «Тобольск научный – 2018» (Тобольск, 2018); IV Международной научно-практической конференции «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 2018); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Наука и инновации. Векторы развития» (Барнаул, 2018); XIX Всероссийской конференции молодых учёных «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии» (Москва, 2019); Международной научно-практической конференции «Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов» (Тюмень, 2019); Республиканской научно-практической конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии» (Караганда, 2020); V Международной конференции «Генофонд и селекция растений» (Новосибирск, 2020), VI Международной научной конференции «Генетика, геномика, биоинформатика и биотехнология растений» (PlantGen2021) (Новосибирск, 2021).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 печатных работ, из них 5 научных статей в международных изданиях (Web of Science и Scopus), 3 публикации – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 8 статей в других изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 208 страницах; состоит из введения, основной части, содержащей 34 рисунка, 47 таблиц, заключения, принятых сокращений, списка литературы включающей 264 наименований, в том числе 183 - на иностранном языке и 12 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе проведен теоретический анализ опубликованных результатов отечественных и зарубежных ученых по теме исследования. Представлены современные достижения в области связей генов запасных белков с качественными характеристиками зерна пшеницы. Рассматриваются основные качественные характеристики зерна в селекции пшеницы.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые и лабораторные исследования проведены с 2016 по 2020 годы, в лаборатории биохимии и технологической оценки качества сельскохозяйственных культур ТОО «Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева» (п. Шортанды, Республика Казахстан), а также на кафедре ботаники, биотехнологии и ландшафтной архитектуры ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (г. Тюмень, Российская Федерация). ДНК-анализ сортов пшеницы в лаборатории генетической и клеточной инженерии Института генетики и цитологии (г. Минск, Республики Беларусь).

Методом электрофореза глиадин и глютеина идентифицирован 201 образец яровой мягкой пшеницы, из них 139 северо-казахстанской (Акмолинской, Северо-Казахстанской, Кустанайской и Павлодарской областей) и 62 западно-сибирской (Тюменской и Челябинской областей) селекции.

Для выявления связей аллелей глиадин- и глютеинкодирующих локусов с биохимическими и технологическими параметрами качества зерна изучено 73 образца яровой мягкой пшеницы урожая 2016-2018 гг. с установленными формулами глиадин и глютеина. В экологическом испытании по хлебопекарным параметрам протестировано 15 сортов НИИСХ Северного Зауралья (Тюмень, Россия) и 6 сортов НПЦЗХ им. А.И. Бараева (Шортанды, Казахстан) урожая 2019-2020 гг. . Опыты проведены в двух географических пунктах: 1) полевые стационары НПЦЗХ им. А.И. Бараева - подзона засушливой степи, почвы - южный карбонатный чернозем (51°37'52.1"N 71°02'30.0"E), сроки посева общепринятые для зоны – 3-4 декады мая, площадь делянок 6 м², норма высева 300 всхожих семян на 1 м², глубина заделки семян в почву 6 см, междурядья 15 см, посев в двухкратной повторности, предшественник – чистый пар, уборка 29-31 августа ручным способом; 2) экспериментальный участок биостанции «Озеро Кучак» ТюмГУ – подзона южной тайги, почвы дерново-подзолистые, супесчаные (57°20'N, 66°03'E), посев проведен во 2-3 декадах мая, на площади 6 м² из расчета 650 семян на 1 м², глубина заделки семян в почву 5 см, междурядья 15 см, повторность 2-х кратная, предшественник – чистый пар, уборка 20-25 августа ручным способом. Состав глиадинов изучался с помощью метода электрофореза в кислом алюминий-лактатном буфере (pH = 3) (Metakovsky and Novoselskaya, 1991), идентификация блоков глиадин по каталогу Метаковского (Metakovsky, 1991). Денатурирующий электрофорез глютеинов в присутствии додецилсульфата натрия в трис-глициновом буфере (Laemmli, 1979). Идентификация высокомолекулярных субъединиц глютеина по каталогу Пейна и Лоуренса (Payne and Lawrence, 1983). Для проверки результатов денатурирующего электрофореза

глютенинов, применена идентификация на основе ПЦР на примере 12 северо-казахстанских сортов. Использованы 14 пар праймеров к наиболее распространенным и ценным аллелям локусов *Glu-A1*, *Glu-B1*, *Glu-D1*. Биохимическая, технологическая и хлебопекарная оценка проведена по ГОСТам и методическим рекомендациям Госкомиссии по оценке качества зерна (Методика, 1988).

Для статистических расчетов аллельного разнообразия применены показатели: внутривидовое разнообразие ($\mu \pm S\mu$), доля редких аллелей ($p \pm Sp$), показатель сходства ($r \pm Sr$) (Животовский, 1991), критерий идентичности (I) (Животовский, 1979). Степень генетического разнообразия (H) рассчитывали по формуле: $H = 1 - \sum p^2$, где p – частота аллелей (Nei, 1973). Независимость или связь аллелей глютеина оценивали по критерию χ^2 (Седловский и др., 1982). Дополнительно использовались оценки связей по коэффициентам ассоциации Q и контингенции (сходства) V (Антамошкин и Бакаева, 2011). Корреляционный анализ, $НСР_{05}$ (Доспехов, 1985) и t -критерий Стьюдента (Статистический ..., 2018) в пакете программ Exell; построение дендрограммы в программе «Statistica 6.0».

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Генетическое разнообразие аллелей глиадинкодирующих локусов сортов яровой мягкой пшеницы северо-казахстанской и западно-сибирской селекции. На основе электрофореза глиадина, при идентификации аллелей и составления формул глиадина северо-казахстанской пшеницы доля мономорфных и полиморфных сортов составила 78% и 22% соответственно. У западно-сибирских сортов мономорфными оказались 63%, полиморфными – 37%. Мономорфные состоят только из одного глиадинового спектра, полиморфные представляют собой смесь зерновок, различающиеся аллелями одного или нескольких глиадинкодирующих локусов. У северо-казахстанской пшеницы, наибольшую частоту встречаемости имели аллели глиадина: *Gli-A1f* (39,3%), *Gli-B1e* (71,9%), *Gli-D1a* (41,0%), *Gli-A2q* (17,8%), *Gli-B2t* (13,4%), *Gli-D2q* (20,3%) у западно-сибирской: *Gli-A1f* (46,9%), *Gli-B1e* (43,7%), *Gli-B1b* (30,8%), *Gli-D1a* (61,0%), *Gli-A2l* (17,0%), *Gli-A2m* (16,9%), *Gli-B2o* (16,1%), *Gli-B2r* (14,5%), *Gli-D2q* (19,8%) и *Gli-D2a* (17,7%). Исходя из частот, в двух популяциях преобладали одинаковые аллели *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a* и *Gli-D2q*. Высокие значения генетического (H) и внутривидового (μ) разнообразия в двух популяциях отмечено по локусу *Gli-B2*, что связано с количеством идентифицированных аллелей (Северный Казахстан – 20, Западная Сибирь – 17), (таблица 1). Доля редких аллелей (h), характеризующая структуру внутривидового разнообразия, показала сбалансированность локуса *Gli-B2* для обеих популяций.

Биометрические расчеты показали, что генетическое разнообразие локуса *Gli-B1* западно-сибирской пшеницы выше за счет 2-х аллелей: *Gli-B1b* и *Gli-B1e*, тогда как в северо-казахстанской преобладал только *Gli-B1e*. При этом среднее значение внутривидового и генетического разнообразия по шести локусам практически одинаково.

На основе расчета генетического сходства (r) и критерия идентичности (I), сделан вывод о достоверном отличии северо-казахстанской от западно-сибирской пшеницы по локусам глиадина *A1*, *B1*, *A2*, *B2* и *D2* (таблица 2).

Таблица 1 – Биометрические показатели глиадинкодирующих локусов коллекции яровой мягкой пшеницы

Стат. показатель	Глиадинкодирующие локусы (<i>Gli</i>)						Среднее
	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>D2</i>	
Северный Казахстан (N = 139)							
<i>H</i>	0,80	0,45	0,75	0,90	0,93	0,89	0,79
$\mu \pm S_{\mu}$	11,80±0,66	4,33±0,38	6,78±0,39	14,44±0,61	17,37±0,57	13,88±0,56	11,43 ± 0,53
$h \pm S_h$	0,31±0,04	0,52±0,04	0,32±0,04	0,19±0,03	0,13±0,03	0,18±0,03	0,28 ± 0,04
Западная Сибирь (N = 62)							
<i>H</i>	0,75	0,69	0,59	0,89	0,91	0,89	0,79
$\mu \pm S_{\mu}$	9,29±0,74	5,22±0,48	5,62±0,55	12,13±0,60	15,19±0,66	14,05±0,81	10,25 ± 0,64
$h \pm S_h$	0,28±0,05	0,34±0,06	0,37±0,06	0,13±0,04	0,10±0,03	0,17±0,04	0,23 ± 0,05

Таблица 2 – Показатели генетического сходства (*r*) и критерия идентичности (*I*) по глиадинкодирующим локусам яровой мягкой пшеницы

Сравниваемые группы	Показатели	Глиадинкодирующие локусы (<i>Gli</i>)					
		<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>	<i>A2</i>	<i>B2</i>	<i>D2</i>
Зап. Сибирь – Сев. Казахстан	<i>r</i>	0,80 ± 0,02	0,90 ± 0,02	0,96 ± 0,01	0,88 ± 0,02	0,86 ± 0,02	0,88 ± 0,02
	<i>I</i>	68,60 (27,6)	34,30 (19,7)	13,72 (18,3)	41,16 (28,9)	48,02 (31,4)	41,16 (28,9)

Примечание: в скобках χ^2 (хи-квадрат) для 5%-ного уровня значимости.

Для выявления схожести/различия проведена кластеризация общих формул глиадина яровой пшеницы Северного Казахстана и Западной Сибири (тюменской и челябинской селекции) с глиадиновыми формулами пшеницы мировой коллекции (Metakovsky et al., 2018) (Рисунок 1). Северо-казахстанская пшеница оказалась близка к пшенице из Омска и Саратова, что связано с историей становления селекции на Севере Казахстана и привлечения омских и саратовских сортов в качестве исходных форм. Тюменская пшеница вместе с иранской, вошла в один подкластер с саратовской, омской и северо-казахстанской пшеницей. Пшеница челябинской селекции оказалась ближе к сербской и сформировали отдельный подкластер с пшеницей из Англии и Испании. В целом, по результатам кластеризации, изученные образцы пшеницы имеют общие аллели, но в различных комбинациях, за счет особенностей селекционного процесса и корректирующего влияния климатических условий. Таким образом, на основе метода электрофореза глиадина проведена идентификация сортов и линий, составлены генетические формулы, установлен биотипный состав.

Генетическое разнообразие аллелей глютеинкодирующих локусов яровой мягкой пшеницы северо-казахстанской и западно-сибирской селекции. На основе денатурирующего электрофореза ВМСГ 201 образца пшеницы Северного Казахстана и Западной Сибири составлены формулы глютеинов. В пшенице обоих регионов, локус *Glu-A1* представлен тремя аллелями *a*, *b* и *c*. По локусу *Glu-B1* в северо-казахстанской пшенице идентифицированы аллели: *a*, *b*, *c*, *e*, *f* и *k*, в западно-сибирской только: *a*, *b*, *c* и *d*. Только два аллеля *a* и *d* локуса *Glu-D1* были идентифицированы в пшенице Западной Сибири, тогда как в пшенице Северного Казахстана встречались: *a*, *d*, *c* и *e* (Рисунок 2).

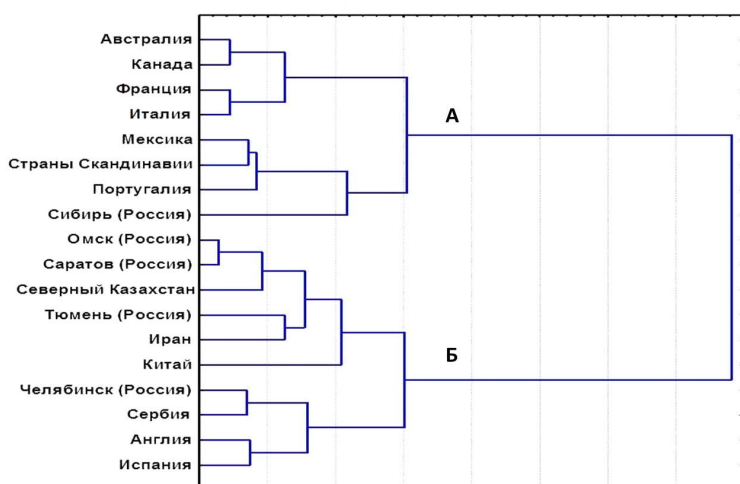


Рисунок 1 – Кластеризация мягкой пшеницы мировой коллекции, Северного Казахстана и Западной Сибири (Тюмень и Челябинск) по генетическим формулам аллелей глиадинкодирующих локусов

присвоены сортам: Карабалыкская 9 (2^* , $13+16$, $5+10$), Астана 2, Челяба степная и Мильтурум 45 (2^* , $7+8$, $5+10$). Остальные сорта оценивались от 7 до 9 баллов, что говорит о достаточно хорошем хлебопекарном качестве. При установлении влияния ВСМГ на хлебопекарное качество в полиморфном сорте балл выставлялся по каждой субъединице и делился на количество идентифицированных субъединиц этого локуса.

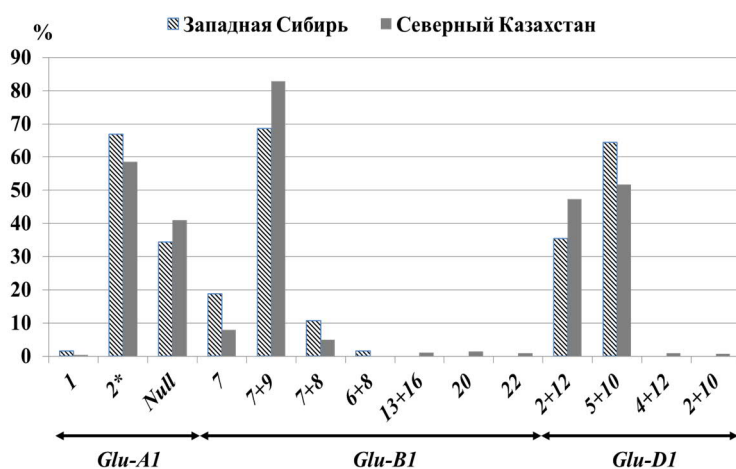


Рисунок 2 – Частота встречаемости высокомолекулярных субъединиц глютеина в образцах яровой мягкой пшеницы Северного Казахстана (N=139) и Западной Сибири (N=62)

хлебопекарное качество, тогда для выставления оценки баллы локуса *Glu-D1* были усреднены: $(2 + 4) / 2 = 3$ балла. Общее влияния ВСМГ на хлебопекарное качество для сорта Шортандинская 25 складывалось из суммы баллов локусов *Glu-A1*, *Glu-B1* и *Glu-D1* и равно: $3+2+3 = 8$.

Хлебопекарная оценка влияния глютеинов на качество в полиморфных образцах северо-казахстанской пшеницы в среднем составила ~ 6, а западно-сибирской – 7 баллов. Анализ полученных значений H , μ и h двух популяций пшеницы показал что, величина H от 0,29 до 0,52 говорит о невысоком разнообразии аллелей глютеина в изученных образцах пшеницы (таблица 3).

Полиморфизм образцов северо-казахстанской пшеницы составил ~18%, у западно-сибирской ~13%. Типы и частота комбинаций ВСМГ у мономорфных сортов и линий Северного Казахстана составила: « 2^* , $7+9$, $2+12$ » – 28,7%, « 2^* , $7+9$, $5+10$ » – 16,5% и «Null, $7+9$, $5+10$ » – 15,8%; у западно-сибирской чаще наблюдались: « 2^* , $7+9$, $5+10$ » – 35,5%, « 2^* , $7+9$, $2+12$ » – 17,7%. При оценке вклада субъединиц глютеина в хлебопекарное качество, максимальные 10 баллов,

К примеру, в сорте Шортандинская 25 по локусам *Glu-A1* и *Glu-B1* идентифицировано по одному аллелю: *b* (субъединица 2^*) и *c* (субъединицы $7+9$), оцениваемые в 3 и 2 балла соответственно. Тогда как, по локусу *Glu-D1* сорт полиморфен, идентифицировано два аллеля: *a* и *c*, контролирующие синтез двух пар компонентов: $2+12$ (2 балла) и $5+10$ (4 балла). Данные пары ВСМГ отличаются по вкладу в хле-

Таблица 3 – Биометрические показатели глютенинкодирующих локусов коллекции яровой мягкой пшеницы

Стат. показатель	Глютенинкодирующие локусы (<i>Glu-1</i>)			Среднее
	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>	
Северный Казахстан (N = 139)				
<i>H</i>	0,49	0,29	0,52	0,43
$\mu \pm S_\mu$	2,14 ± 0,11	3,02 ± 0,25	2,51 ± 0,16	2,56 ± 0,17
$h \pm S_h$	0,28 ± 0,04	0,49 ± 0,04	0,37 ± 0,04	0,38 ± 0,04
Западная Сибирь (N = 62)				
<i>H</i>	0,45	0,48	0,46	0,46
$\mu \pm S_\mu$	2,27 ± 0,16	2,94 ± 0,22	1,96 ± 0,03	2,39 ± 0,14
$h \pm S_h$	0,24 ± 0,05	0,26 ± 0,05	0,02 ± 0,01	0,17 ± 0,04

Среднее значение *H* и $\mu \pm S_\mu$ для обеих популяций примерно на одном уровне, что говорит о схожести в количестве и частоте аллелей, разница заключается только в разбросе данных показателей. Расчет критерия идентичности и генетического сходства западно-сибирской и северо-казахстанской пшеницы показал достоверное отличие друг от друга по глютенинкодирующему локусу *Glu-B1* (таблица 4).

Таблица 4 – Показатели генетического сходства (*r*) и критерия идентичности (*I*) по глютенинкодирующим локусам яровой мягкой пшеницы

Сравниваемые группы	Показатели	Глютенинкодирующие локусы (<i>Glu-1</i>)		
		<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>
Западная Сибирь – Северный Казахстан	<i>r</i>	0,99±0,01	0,95±0,01	0,98 ±0,01
	<i>I</i>	3,43 (5,99)	17,15 (12,59)	6,86 (7,81)

Примечание: в скобках χ^2 для 5%-ного уровня значимости

В результате идентификации ВМСГ северо-казахстанской и западно-сибирской пшеницы составлены генетические формулы, установлен биотипный состав и аллельное разнообразие локусов *Glu-1*. Каждому образцу, в зависимости от аллельного состава глютенинов присвоен балл, характеризующий ожидаемое хлебопекарное качество. В дальнейшем, эти результаты могут быть использованы в селекции при составлении схем скрещивания.

Идентификация ВМСГ с помощью ДНК-маркеров. Для подтверждения и уточнения аллельного состава ВМСГ, проведен анализ ДНК-маркерами на основе полимеразно-цепной реакции 12 северо-казахстанских сортов яровой мягкой пшеницы. Применение 14 пар праймеров, подобранных на основе литературных данных, позволило идентифицировать аллельный состав локусов *Glu-1* (таблица 5). В качестве стандарта использован сорт Чайниз Спринг. Полученные результаты подтвердили данные «классического» SDS-электрофореза глютенина. Однако, при сопоставлении результатов ДНК анализа и SDS – электрофореза, по некоторым сортам был выявлен полиморфизм, который не обнаружил один из сопоставляемых методов.

Например, по локусу *Glu-A1*, с помощью ДНК-маркеров установлена гетерогенность сорта Целинная 26, тогда как по данным SDS – электрофореза сорт гомогенен (Рисунок 3, таблица 5). Аналогичная ситуация наблюдалась по локусу *Glu-D1*: ДНК-анализ выявил полиморфизм в четырех сортах: Акмола 2, Астана 2, Акмола 40 и Целинная 3С, тогда как метод SDS-электрофореза этого не выявил.

Таблица 5 – Аллельный состав генов запасных белков у сортов пшеницы, идентифицированный ДНК маркерами и SDS – электрофорезом глютеинов

Сорт	Локусы <i>Glu-1</i> (ДНК - маркеры)			Локусы <i>Glu-1</i> (SDS – электрофорез)		
	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>	<i>A1</i>	<i>B1</i>	<i>D1</i>
Астана 2	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>d</i>
Акмола 2	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Акмола 3	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>a+b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>
Акмола 40	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Астана	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a+d</i>
Целинная 24	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>
Целинная 26	<i>b+c</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>
Целинная 3С	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>
Целинная юбилейная	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d+a</i>
Карабалыкская 98	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
Шортандинская 2012	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>
Шортандинская 95 улучшенная	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>

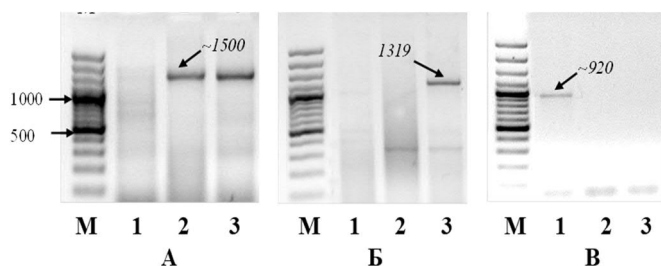


Рисунок 3 – Результаты амплификации ДНК растений пшеницы. А – с праймерами Ax1+Ax2*; Б - с праймерами Ax2*; В - с праймерами Axnull к локусу *Glu-A1*: М – маркер молекулярного веса, 1 – Целинная 26 (*Axnull*), 2 – Карабалыкская 98 (*Ax1*), 3 – Астана 2 (*Ax2**)

захстана. Для выявления связей аллелей глиадина с качественными характеристиками, проведен биохимический и технологический анализ зерна 30 сортов яровой пшеницы урожая 2016-2018 гг. с установленными формулами глиадина. Анализ генетических формул проанализированных сортов показал, что преимущественно встречались аллели *Gli-A1f* – 38,3%, *Gli-B1e* – 85,0%; *Gli-D1a* – 43,3%; *Gli-A2p* и *Gli-A2q* по 20,0%; *Gli-B2d* – 21,7%; *Gli-D2a* – 26,7% и *Gli-D2e* – 23,3%. Генотипы, имеющие аллели *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q* в различных сочетаниях, формируют зерно, отличающееся по хлебопекарной классификации (таблица 6).

Вероятно, сочетание аллелей *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q* в условиях Северного Казахстана оказалось наиболее удачным для формирования качественных показателей зерна и хлеба. К тому же, указанные аллели использовались для маркирования повышенных технологических характеристик саратовских сортов пшеницы (Dobrotvorskaya, et al., 2009). Возможные связи идентифицированных блоков глиадина с показателями качества согласуются с предположением о сопряженности аллелей локусов *Gli-1* с хлебопекарным качеством (Demichelis, et al., 2019).

Таким образом, применение ДНК- и белковых маркеров позволило получить максимально объективную информацию об аллельном составе локусов *Glu-1* яровой мягкой пшеницы. Полученные сведения могут помочь в селекционной работе по отбору наиболее ценных генотипов.

Связь аллелей глиадинокодирующих локусов с показателями качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана.

Таблица 6 – Качественные характеристики зерна сортов пшеницы в зависимости от сочетания аллелей глиадинокодирующих локусов, среднее за 2016-2018 гг.

Группа*	Количество сортов	Содержание протеина, %	Содержание клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Энергия деформации теста, с.а.	Отношение упругости к растяжимости, р/л	Валориметрическая оценка, ед вал.	Водопоглощительная способность, %	Объем хлеба, мл	Общая хлебопекарная оценка, бал	Хлебопекарная классификация**
1	3	14,10	30,0	74	286	1,48	73	69,0	760	4,7	у.у.
2	3	14,22	30,1	78	298	0,85	73	68,6	783	4,7	н.ц.
3	6	14,58	31,5	77	267	0,77	72	68,6	760	4,7	н.ц.
4	3	14,10	30,2	75	294	0,86	73	68,3	762	4,5	у.у.
5	8	14,38	30,6	75	299	0,92	75	69,2	780	4,7	у.у.
6	3	14,35	30,2	73	340	1,13	76	70,1	755	4,6	у.у.
7	2	14,87	34,3	93	122	0,50	65	67,6	663	3,8	с.п.
8	2	14,75	31,1	75	329	0,88	77	69,5	751	4,6	у.у.

Примечание: *Сочетание аллелей для групп: 1 - *Gli-A1f, Gli-B1e, Gli-D1a, Gli-A2q*; 2 - *Gli-A1f, Gli-B1e, Gli-D1a*; 3 - *Gli-A1f, Gli-B1e*; 4 - *Gli-B1e, Gli-D1f*; 5 - *Gli-B1e, Gli-D1a*; 6 - *Gli-B1e, Gli-D1i*; 7 - *Gli-A1p, Gli-B1m, Gli-D1g, Gli-A2k*; 8 – Сорта Екатерина (*f, b, g, f, f, p*), Росинка 3 (*c, b, f, k, r, q*) – с разными формулами глиадина;

**у.у. – удовлетворительный улучшитель, н.ц. – наиболее ценная по качеству, с.п. – слабая пшеница

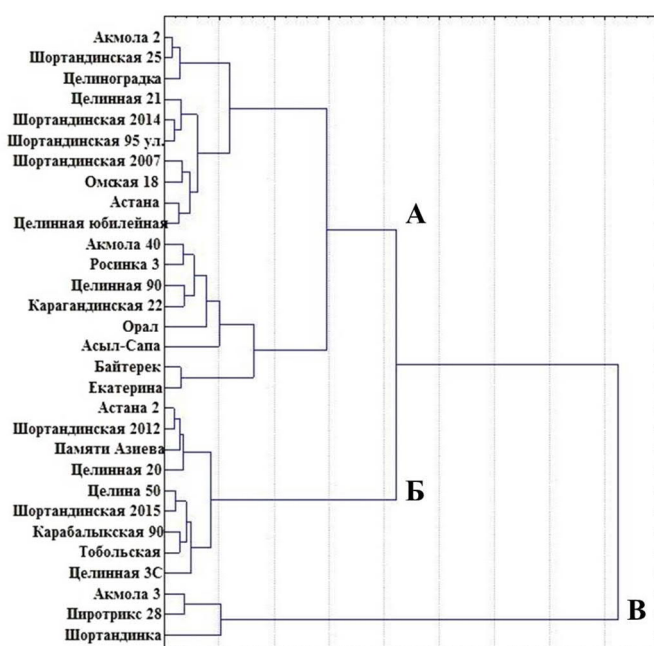


Рисунок 4 – Кластеризация сортов пшеницы по результатам технологической, биохимической и хлебопекарной оценки

Для выявления близости сортов по качественным показателям зерна, проведена кластеризация сортов по методу Уорда, на основе результатов биохимической и технологической оценки (Рисунок 4).

Кластер «А» сформировали 18 сортов, кластеры «Б» и «В» – 9 и 3 сорта соответственно. После кластеризации, результаты биохимической и технологической оценки были объединены и получены средние значения (таблица 7). Средние значения по показателям качества зерна, муки и хлеба кластера «А» оказались предпочтительнее, чем у кластеров «Б» и «В». Однако, статистический расчет не показал достоверного отличия по группам, но имелись различия по аллельному разнообразию глиадинов

и частоте встречаемости. Три сорта, образовавшие кластер «В»: Акмола 3, Шортандинка, Пиротрикс 28 за 2016-2018 гг., не отличались качественными показателями, что говорит об отсутствии возможных связей аллелей глиадина с качеством зерна.

Таблица 7 – Сгруппированные средние результаты биохимической и технологической оценки сортов яровой мягкой пшеницы на основе кластеризации

Показатель качества	Кластер А	Кластер Б	Кластер В
Содержание белка, %	14,4	14,2	14,8
Натура зерна, г/л	790,4	787,2	793,9
Масса 1000 зерен, г	34,7	35,9	34,1
Содержание клейковины, %	30,3	30,7	34,3
ИДК, ед.	73,8	77,3	91,4
Деформация теста, ед. а.	316,6	272,5	132,7
Отношение р/л	1,0	0,8	0,5
Валориметрический индекс, ед. вал.	75,3	72,7	65,4
ВПС, %	69,5	68,6	68,4
Объем хлеба, мл	785,4	738,1	675,1
Общая хлебопекарная оценка, балл	4,7	4,6	3,9

Средние значения показателей качества зерна, муки и хлеба у кластеров «А» и «Б» характеризуют пшеницу относящейся к категории «ценная» и «сильная». Анализ генетических формул по группам показал, что у сортов кластеров «А» и «Б» часто встречались аллели *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q*, при этом в кластере «Б», частота встречаемости аллелей *Gli-D1f* и *Gli-D1a* одинакова (Рисунок 5).

Стоит отметить, что аллели *Gli-D1f* и *Gli-D1a* контролируют синтез почти идентичных друг другу блоков компонентов. Отличием *Gli-D1a* является наличие более подвижного компонента в γ -зоне.

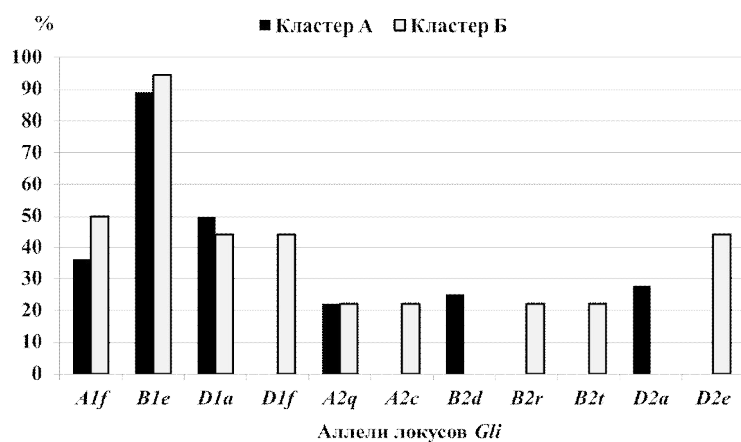


Рисунок 5 – Частота встречаемости аллелей глиадинокодирующих локусов по кластерам

вания качественных показателей зерна и хлеба.

Связь аллелей глютенинкодирующих локусов с технологическими и хлебопекарными параметрами яровой мягкой пшеницы. Для установления связей компонентов ВМСГ с качественными характеристиками зерна и хлеба проведен биохимический и технологический анализ 73 образцов пшеницы (33 сорта и 40 селекционных линий урожая 2016-2018 гг.) с известными формулами глютенина. По каждому показателю составлен предел, характеризующий качественное зерно пшеницы: содержание протеина - выше 14,0%, натура и стекловидность зерна более 750 г/л и 60% соответственно, содержание и качество клейковины более 28,0% и 45-80 ед. ИДК; энергия деформации теста – свыше 280 ед. альвеографа; соотношение

Есть предположение, если аллели глиадина контролируют синтез близких по количеству и электрофоретической подвижности компонентов, то это говорит о схожей нуклеотидной последовательности (Чеботарь и др., 2012) и возможно о схожем влиянии на качественные показатели. Таким образом, сочетание аллелей *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q* в условиях Северного Казахстана оказалось удачным для формиро-

упругости к растяжимости (P/L) – от 0,8 до 1,5; валориметрическая оценка выше 70 ед. вал.; объем хлеба более 650 мл, формоустойчивость от 0,41 до 0,60 ед.; пористость от 4,3 до 5,0 баллов; общая хлебопекарная оценка от 4,3 до 5,0 баллов (Методика, 1988). Расчет связей проведен по часто встречающимся аллелям: *Glu-A1b* – частота аллеля 0,70, *Glu-B1c* – 0,72, *Glu-D1a* – 0,54 и *Glu-D1d* – 0,45. Например, на основе составленной таблицы сопряженности, сбалансированное соотношение упругости к растяжимости – P/L (0,8-1,5) достоверно связано с аллелем *Glu-A1b*, т.к. в оптимальный интервал вошли 37 образцов, что составило 51% (таблица 8).

Таблица 8 – Сопряженность аллеля *Glu-A1b* с показателем P/L

Аллель	Оптимальный интервал 0,8-1,5	Выше или ниже интервала 0,8-1,5	Σ
<i>Glu-A1b</i>	37 (32)*	14 (19)*	51
<i>Glu-A1a</i> + <i>Glu-A1c</i>	9 (14)*	13 (8)*	22
Σ	46	27	73
$\chi^2 = 5,31$ ($P = 0,95$ и $d.f. = 2$) коэффициент контингенции $V = 0,27$			

Примечание: *в скобках указаны теоретические частоты

В результате расчетов, полученные значения критерия χ^2 (хи-квадрат), коэффициенты ассоциации (Q) и контингенции (V) – показали значимую связь ВМСГ с содержанием клейковины, отношением P/L и валориметрической оценкой (таблица 9).

Таблица 9 – Связи аллелей ВМСГ яровой мягкой пшеницы с биохимическими и технологическими характеристиками урожая 2016-2018 гг.

ВМСГ / аллель	Стат. показатель	Содержание протеина	Стекловидность	Содержание клейковины	Качество клейковины	Удельная работа деформации теста	Отношение P/L	Валориметрическая оценка	Формоустойчивость	Пористость	Общая хлебопекарная оценка
2*/ <i>Glu-A1b</i>	Q	0,17	-0,07	0,53	0,27	0,32	0,58	0,00	-0,04	0,10	-0,14
	χ^2	0,15	0,00	3,86*	0,38	0,89	5,31*	0,07	0,11	0,02	0,11
	V	0,05	0,00	0,23	0,07	0,11	0,27	0,03	0,04	0,02	0,04
7+9/ <i>Glu-B1c</i>	Q	0,08	0,02	0,34	-0,64	0,01	0,19	0,56	-0,44	0,11	0,00
	χ^2	0,00	0,03	1,13	1,37	0,06	0,22	4,20*	0,18	0,03	0,52
	V	0,00	0,02	0,12	0,14	0,03	0,05	0,24	0,05	0,02	0,08
5+10/ <i>Glu-D1d</i>	Q	-0,16	0,04	-0,39	0,34	-0,02	-0,63	0,32	0,04	-0,06	-0,12
	χ^2	0,19	0,00	2,19	0,63	0,03	7,12*	0,93	0,09	0,00	0,42
	V	0,05	0,00	0,17	0,09	0,02	0,31	0,11	0,04	0,00	0,08
2+12/ <i>Glu-D1a</i>	Q	0,09	-0,09	0,33	-0,37	-0,02	0,60	-0,35	0,07	0,02	0,09
	χ^2	0,02	0,02	1,5	0,81	0,04	6,18*	1,23	0,05	0,03	0,42
	V	0,01	0,01	0,14	0,105	0,02	0,29	0,13	0,03	0,02	0,08

Примечание: * величины, превышающие стандартное значение $\chi^2_{st} = 3,84$ ($d.f. = 1$)

Таким образом на основе статистических расчетов, генотипы яровой мягкой пшеницы с сочетанием аллелей *Glu-A1b*, *Glu-B1c*, *Glu-D1d* и *Glu-D1a* в условиях Северного Казахстана, достоверно могут иметь повышенное содержание клейковины в

зерне (более 28%), тесто может обладать оптимальным соотношением упругости к ее растяжимости ($P/L=0,8-1,5$) и повышенной валориметрической оценкой (более 70 ед.вал).

Тюменские сорта яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана и Западной Сибири. Тюменские сорта отнесены к среднеспелому и среднепозднему типу созревания в условиях Северного Казахстана (таблица 10). Средняя урожайность сортов составила 1,92 т/га, что не превышало стандарт.

Таблица 10 – Вегетационный период и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ Северного Зауралья в условиях Северного Казахстана, в 2019-2020 гг.

Сорт	Вегетационный период, сутки	Урожайность, т/га		Среднее	Отклонение от стандарта, ± т/га
		2019 г.	2020 г.		
Среднеспелая группа спелости					
Акмола 2 (st)	90	2,65	1,86	2,25	-
Тюменская 30	90	1,70	1,56	1,63	- 0,62
Тюменская 33	90	1,77	1,55	1,66	- 0,59
Среднепоздняя группа спелости					
Целинная юбилейная (st)	92	2,80	1,96	2,38	-
Авиада	95	2,35	2,25	2,30	- 0,08
Аделина	91	2,30	1,93	2,12	- 0,26
Икар	94	1,84	1,77	1,80	- 0,58
Лютесценс 585	92	1,65	1,51	1,58	- 0,80
Рикс	96	2,16	1,76	1,96	- 0,42
Серебрина	95	2,44	1,71	2,08	- 0,31
СКЭНТ-3	91	2,64	1,84	2,24	- 0,14
Тюменец 2	93	1,97	1,55	1,76	- 0,62
Тюменская 25	92	2,05	1,67	1,86	- 0,52
Тюменская 27	92	1,82	1,55	1,68	- 0,70
Тюменская 29	92	1,89	1,89	1,89	- 0,49
Тюменская 31	92	1,75	1,60	1,68	- 0,71
Тюменская 32	91	1,97	1,63	1,80	- 0,58
Среднее		2,10	1,74	1,92	-
НСР ₀₅		0,23	0,26	-	-

Достоверное превышение наблюдалось по массе 1000 зерен и натуре зерна у сортов Икар и Тюменец 2; по содержанию протеина и клейковины: Тюменская 33, Лютесценс 585, Тюменская 27, Тюменская 32. Сбалансированность между содержанием и качеством клейковины в сортах: Аделина, Икар, Серебрина, Тюменская 32 (таблица 11). К категории «улучшитель» по энергии деформации теста отнесены сорта Аделина, Икар, Лютесценс Серебрина, СКЭНТ-3. Важным критерием оценки теста является отношение упругости к ее растяжимости (P/L). В результате, 9 сортов из 15 классифицировались как филлеры и «слабая пшеница». С другой стороны, по объему хлеба все сорта соответствует «сильной» пшенице, категории «отличный улучшитель». Достоверное превышение объема хлеба над сортом-стандартом Целинная юбилейная, зафиксировано у сортов: Тюменская 29 (768 мл), Тюменец 2 (756 мл), Серебрина (739 мл).

Таблица 11 – Биохимическая, технологическая и хлебопекарная оценка качества зерна сортов яровой мягкой пшеницы тюменской селекции в условиях Северного Казахстана, среднее за 2019-2020 гг.

Сорт	Содержание протеина, %	Клейковина		Энергия деформации теста - е.а.	Отношение <i>P/L</i> , ед.	Объем хлеба, мл	Общая хлебопекарная оценка, балл
		содержание, %	качество, ед. ИДК				
Среднеспелая группа спелости							
Акмола 2 (st)	15,7	31,2	73	309	1,06	748	4,6
Тюменская 30	16,2	33,1	77	201	0,87	670	3,8
Тюменская 33	17,5	36,4	84	290	1,15	650	3,8
Среднепоздняя группа спелости							
Целинная юбилейная (st)	15,6	31,6	73	339	0,51	699	4,6
Авиада	16,1	32,1	75	250	0,70	715	3,9
Аделина	15,9	32,4	74	301	0,64	726	4,3
Икар	16,4	33,5	74	322	0,52	722	4,5
Лютесценс 585	17,6	37,0	82	374	1,10	732	4,0
Рикс	16,1	32,8	76	164	0,21	680	3,7
Серебряна	15,9	31,8	74	296	0,52	739	4,1
СКЭНТ-3	16,7	33,9	79	307	0,89	760	4,5
Тюменец 2	16,7	33,9	79	165	0,51	756	4,4
Тюменская 25	16,2	32,7	79	233	0,57	712	4,5
Тюменская 27	17,3	35,8	82	240	0,45	620	4,1
Тюменская 29	15,7	31,7	75	251	0,78	768	4,4
Тюменская 31	16,0	33,0	76	175	0,33	675	4,3
Тюменская 32	17,9	36,0	71	260	0,41	675	4,4
Среднее	16,4	33,5	77	263	0,66	709	4,2
НСР ₀₅	0,9	3,4	9	38	0,10	39	0,3

По комплексу показателей: качество клейковины, сила муки, *P/L*, объем хлеба и общая хлебопекарная оценка выделены сорта: Аделина, Икар, Лютесценс 585, Серебряна и СКЭНТ-3, которые можно включить в селекционный процесс в Северном Казахстане. Для сравнения проанализированы 4 сорта пшеницы урожая 2019-2020 гг., выращенные в Северном Зауралье: Тюменская 25 (st), Тюменская 29, Икар и Авиада (таблица 12). Качественные характеристики зерна оказались близки к результатам биохимической и технологической оценки сортов, полученных в условиях Северного Казахстана.

Результаты по технологической и хлебопекарной оценке яровой мягкой пшеницы тюменского происхождения свидетельствуют о том, что в засушливых условиях Северного Казахстана, при малом количестве осадков, тюменская пшеница может сформировать качественное зерно, но с невысокой урожайностью. При том, что данные сорта созданы в условиях с достаточной влагообеспеченностью и другим почвенным покровом.

Таблица 12 – Биохимические, технологические показатели качества зерна и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы селекции НИИСХ СЗ в условиях Западной Сибири, среднее за 2019-2020 гг.

Сорт	Урожайность, т/га	Содержание протеина, %	Клейковина		Энергия деформации теста, е.а.	Отношение Р/L	Объем хлеба, мл	Общая хлебопекарная оценка, балл
			содержание, %	качество, ед. ИДК				
Тюменская 25 (st)	4,9	17,8	32,5	78	191	0,52	643	4,0
Тюменская 29	4,7	17,2	31,2	70	216	0,91	675	4,1
Икар	4,6	16,1	27,8	57	204	0,84	690	4,3
Авиада	4,8	16,1	28,3	64	208	1,03	605	3,7
Среднее	4,8	16,8	30,0	67	205	0,83	653	4,0
НСР ₀₅	0,4	1,4	4,3	6	43	0,42	72	1,0

Шортандинские сорта яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. Урожайность шортандинских сортов в условиях Северного Казахстана и Западной Сибири в среднем составила 2,49 т/га и 2,65 т/га соответственно. Достоверное превышение над стандартом отмечено у сорта Таймас, с урожайностью в 2,94 т/га в Северном Казахстане, тогда как в Западной Сибири урожайность шортандинских сортов оказалась ниже стандарта (таблица 13, 14).

Таблица 13 - Урожайность яровой мягкой пшеницы селекции НПЦЗХ им. А.И. Бараева, в условиях Северного Казахстана, урожай 2019-2020 гг.

Сорт	Урожайность, т/га		Среднее	Отклонение от стандарта, ± т/га
	2019 г.	2020 г.		
Среднеранняя группа спелости				
Астана (st)	2,29	2,08	2,19	-
Шортандинская 2012	2,21	2,68	2,45	+0,26
Тауелсыздык 20	2,13	2,26	2,19	0
Среднеспелая группа спелости				
Акмола 2 (st)	2,25	2,86	2,55	-
Шортандинская 2014	2,21	2,77	2,49	-0,06
Таймас	3,06	2,82	2,94	+0,39
Асыл-Сапа	2,01	2,44	2,23	-0,32
Среднепоздняя группа спелости				
Целинная юбилейная (st)	2,50	2,98	2,74	-
Шортандинская 95 улучшенная	2,38	2,91	2,65	-0,09
Среднее	2,34	2,64	2,49	-
НСР ₀₅	0,25	0,33		

Среднее значение массы 1000 зерен колебалось в условиях Западной Сибири от 28,3 г (Шортандинская 2014) до 36,8 г (Асыл Сапа) при среднем 32,4 г, а в Северном Казахстане - от 32,8 г (Асыл Сапа) до 39,4 г (Шортандинская 95 улучшенная) при среднем 35,9 г. (таблица 14, 15). Для определения достоверности различий проведен расчет t-критерия, в результате уровень значимости оказался ниже 0,05 по показателям: масса 1000 зерен ($p=0,0210$), содержание протеина ($p=0,0025$) и клейковины

($p=0,0065$), натура зерна ($p=0,0378$), что свидетельствует о том, что условия Северного Казахстана более благоприятны для формирования зерна пшеницы по указанным качественным показателям.

Таблица 14 – Физическая, биохимическая оценка зерна и урожайность сортов яровой мягкой пшеницы селекции НПЦЗХ им. А.И. Бараева в условиях Западной Сибири, среднее за 2019-2020 гг.

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Содержание протеина, %	Клейковина		Натура зерна, г/л	Стекловидность, %	Седиментация, мл	Урожайность, т/га
			содержание, %	качество, ед. ИДК				
Среднеспелая группа спелости								
Тюменская 25 (st)	35,6	17,8	32,5	78	795	54	67	4,9
Асыл-Сапа	36,8	14,8	28,5	71	803	49	65	3,3
Таймас	34,1	13,7	30,0	72	786	70	75	1,6
Тауелсыздык 20	33,6	14,0	30,5	73	796	78	73	2,1
Шортандинская 95 улучшенная	30,1	15,2	31,1	68	787	68	73	2,7
Шортандинская 2012	31,2	13,8	28,4	63	778	76	67	1,6
Шортандинская 2014	28,3	14,9	31,4	74	786	78	75	2,1
Среднее	32,4	14,9	30,3	71	790	68	71	2,6
НСР ₀₅	3,4	0,6	3,2	5	28	7	6	0,4

Таблица 15 – Биохимическая и технологическая оценка зерна сортов яровой мягкой пшеницы селекции НПЦЗХ им. А.И. Бараева в условиях Северного Казахстана, среднее за 2019-2020 гг.

Сорт	Масса 1000 зерен, г	Содержание протеина, %	Клейковина		Натура зерна, г/л	Стекловидность, %	Седиментация, мл
			содержание, %	качество, ед. ИДК			
Среднеранняя группа спелости							
Астана (st)	34,5	16,4	33,9	78	779	53	86
Шортандинская 2012	38,3	15,8	32,1	75	805	44	83
Тауелсыздык 20	36,9	15,3	32,0	72	810	55	87
Среднеспелая группа спелости							
Акмола 2 (st)	34,1	15,7	31,2	73	782	55	85
Шортандинская 2014	35,3	15,4	32,4	72	802	54	85
Таймас	37,7	15,6	31,2	74	801	61	83
Асыл-Сапа	32,8	16,9	35,5	69	786	68	84
Среднепоздняя группа спелости							
Целинная юбилейная (st)	34,0	15,6	31,6	73	785	61	83
Шортандинская 95 улучшенная	39,4	15,9	34,2	77	802	62	77
Среднее	35,9	15,8	32,7	74	795	57	84
НСР ₀₅	4,2	0,6	2,2	8	21	12	8

Среднее значение соотношения P/L в двух климатических зонах очень близки друг к другу: 1,05 (Западная Сибирь) и 0,95 (Северный Казахстан) (таблица 16), что подтвердилось при расчете t – критерия Стьюдента ($p=0,52$). Энергия деформации теста сортов, в условиях Западной Сибири составило 292 е.а., а в условиях Северного Казахстана – 323 е.а.

При этом критерий Стьюдента не показал достоверного различия между средними значениями данного параметра. Тем не менее, полученные результаты оценки по удельной работе деформации теста, шортандинские сорта пшеницы в двух условиях соответствовали требованиям к качественному зерну. Результаты фаринографической оценки по критерию Стьюдента не показали достоверной разницы в зависимости от условий выращивания. В условиях Западной Сибири, у сортов Шортандинская 2012 и Шортандинская 95 улучшенная отмечен достаточно высокий уровень валориметрической оценки – 85 ед. вал, что соответствует категории «отличный улучшитель» (таблица 16).

Таблица 16 - Физические свойства теста из зерна сортов яровой мягкой пшеницы селекции НПЦЗХ им. А.И. Бараева в условиях Северного Зауралья и Северного Казахстана, среднее за 2019-2020 гг.

Условия	Сорт	Альвеограф Шопена		Фаринограф Брабендера	
		энергия деформации теста, е.а.	отношение P/L , ед.	ВПС, %	валориметрическая оценка, ед. вал
Северное Зауралье	Тюменская 25 (st)	191	0,52	72	69
	Шортандинская 2012	298	1,10	68	85
	Шортандинская 2014	331	1,29	69	76
	Шортандинская 95 улучшенная	406	0,93	78	85
	Таймас	274	0,96	67	67
	Тауелсыздык 20	324	1,22	78	84
	Асыл-Сапа	218	1,30	66	67
	Среднее	292	1,05	71	76
	НСР ₀₅	17	0,14	10	8
Северный Казахстан	Астана (st)	275	0,64	76	76
	Шортандинская 2012	346	1,09	75	81
	Тауелсыздык 20	294	1,38	75	80
	Акмола 2 (st)	318	0,96	75	78
	Шортандинская 2014	309	0,79	75	81
	Таймас	343	1,21	76	85
	Асыл-Сапа	393	1,16	78	94
	Целинная юбилейная (st)	329	0,68	75	82
	Шортандинская 95 улучшенная	302	0,63	77	76
	Среднее	323	0,95	76	81
	НСР ₀₅	44	0,15	4	4

В условиях Северного Казахстана максимальные 94 ед. вал. зафиксировано у сорта Асыл-Сапа. По результатам комплексной оценки шортандинские сорта пшеницы в Западной Сибири вошли в категорию «хороший и удовлетворительный

улучшитель», за исключением Шортандинская 2012 и Таймас. Тогда как в Северном Казахстане все изученные сорта классифицируются как «хороший и отличный улучшитель».

На основе биохимической и технологической оценки зерна шортандинских сортов, выращенных в Западной Сибири, можно сделать заключение, что достаточное количество осадков может положительно отразиться на урожайности (сорт Асыл Сапа), но снизить качественные характеристики зерна. Тем не менее, в условиях Западной Сибири, сорта Шортандинская 2014, Шортандинская 95 улучшенная, Тауелсыздық 20 сформировали зерно категории «сильная и ценная пшеница».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе нативного и SDS-электрофореза запасных белков 201 сортообразца мягкой пшеницы западно-сибирской и северо-казахстанской селекции проведена идентификация по аллелям глиаина и глютеина, составлены их генетические формулы.

2. В условиях Северного Казахстана комбинация аллелей глиаина: *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a*, *Gli-A2q*, характерна для мягкой пшеницы с повышенными качественными показателями зерна, муки и хлеба: содержание клейковины до 30,7%; качество клейковины до 77 ед ИДК; удельная работа деформации теста – до 317 е.а.; отношение P/L 1,0; валориметрическая оценка до 75 е. вал.; объем хлеба 785 мл.; общая хлебопекарная оценка 4,6-4,7 баллов.

3. Для яровой мягкой пшеницы в условиях Западной Сибири характерные аллели глиаина с частотами: *Gli-A1f* (46,9%), *Gli-B1e* (43,7%), *Gli-B1b* (30,8%), *Gli-D1a* (61,0%), *Gli-A2l* (17,0%), *Gli-A2m* (16,9%), *Gli-B2o* (16,1%), *Gli-B2r* (14,5%), *Gli-D2q* (19,8%), *Gli-D2a* (17,7%).

4. Критерий идентичности (*I*) показал достоверное отличие образцов пшеницы Северного Казахстана от пшеницы Западной Сибири по глиадинкодирующим локусам: *A1* = 68,60 (27,6); *B1* = 34,30 (19,7); *A2* = 41,16 (28,9); *B2* = 48,02 (31,4); *D2* = 41,16 (28,9), в скобках табличные значения χ^2 для уровня значимости 0,05.

5. Характерными аллелями глютеинкодирующих локусов яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана и Северного Зауралья являются: *Glu-A1b* (ВМСГ 2*), *Glu-B1c* (ВМСГ 7 + 9), *Glu-D1d* (ВМСГ 5 + 10), *Glu-Da* (ВМСГ 2 + 12). Частота встречаемости аллелей *Glu-A1b*, *Glu-B1c*, *Glu-D1d* и *Glu-D1a* в Северном Казахстане составляет: 58,6%, 82,8%, 51,7% и 47,3% и в Северном Зауралье – 66,9%, 68,7%, 64,5% и 35,5% соответственно.

6. Пшеница Северного Казахстана и Западной Сибири достоверно отличается друг от друга по глютеинкодирующему локусу *Glu-B1*, критерий идентичности *I* = 17,15 (χ^2 = 12,59).

7. Применение ПЦР-анализа позволило установить полиморфизм локуса *Glu-D1* в сортах Астана 2, Акмола 2, Акмола 40, Целинная 3С и в локусе *Glu-A1* сорта Целинная 2б, который не выявлен при использовании только SDS-электрофорезом.

8. При статистическом расчете связей количественных признаков с аллельным составом глютеинов установлены достоверные связи: *Glu-A1b* с содержанием клейковины (χ^2 = 3,86) и значением P/L (χ^2 = 5,31); аллель *Glu-B1c* с валориметрической

оценкой ($\chi^2 = 4,20$) и аллелей *Glu-D1d* ($\chi^2 = 7,12$) и *Glu-D1a* ($\chi^2 = 6,18$) с отношением P/L, при $\chi^2 St = 3,84$ (d.f.=1).

9. Урожайность тюменских сортов в условиях Северного Казахстана в 2019-2020 гг. близкая к сортам-стандартам (2,25-2,38 т/га) отмечена у 5 сортов: Авиада (2,30 т/га), СКЭНТ-3 (2,24 т/га), Серебряна (2,08 т/га), Рикс (1,96 т/га), Икар (1,80 т/га).

10. Сорта Икар и Тюменская 29 при выращивании в Северном Казахстане в 2019-2020 гг. сформировали зерно категории «сильная пшеница»: протеин: 16,4 и 15,7% соответственно; качество клейковины: 74 и 75 ед. ИДК соответственно; натурная масса зерна: 799 и 791 г/л соответственно, удельная работа деформации теста: 322 и 251 е.а.; ВПС одинаково – 72%; соотношение упругости к растяжимости теста (P/L): 0,52 и 0,78 ед. соответственно, объем хлеба 722 и 768 мл; общая хлебопекарная оценка: 4,5 и 4,4 баллов соответственно.

11. Засушливые условия в Северном Зауралье в 2019-2020 гг. позволили, получить зерно 4-х сортов пшеницы: Тюменская 25, Тюменская 29, Икар и Авиада с качественными показателями, соответствующие I и II классу по ГОСТ 9353-2016.

12. Все сорта пшеницы шортандинской селекции в Северном Зауралье в 2019-2020 гг. сформировали зерно соответствующее I и II классу, категории «хороший улучшитель», а в Северном Казахстане отвечали требованиям I класса, категории «отличный улучшитель». Наибольшая урожайность в условиях Северного Зауралья зафиксирована для сорта Асыл-Сапа – 3,38 т/га.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Рекомендуем при изучении исходного материала яровой мягкой пшеницы, а также при подборе родительских пар для гибридизации учитывать в качестве маркеров качественных показателей зерна и теста аллельный состав глютенина: *Glu-A1b*, *Glu-B1c*, *Glu-D1d* и *Glu-D1a* и аллелей глиаина: *Gli-A1f*, *Gli-B1e*, *Gli-D1a* и *Gli-A2q*.

2. Для установления генетической структуры, гетерогенности, подлинности и чистоты сорта рекомендуется анализ биотипного состава по спектрам глиаина и глютенина на основе методов ДНК диагностики и электрофореза запасных белков.

3. Рекомендуем использование в селекционных программах сорта сочетающие комплекс хозяйственно-ценных признаков: Асыл-Сапа, Шортандинская 95 улучшенная, Тауелсіздік 20 в условиях Западной Сибири, а для условий Северного Казахстана – Икар и Авиада.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Утебаев, М.У. Качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях Северного Казахстана / М.У. Утебаев, Н.А. Боме, Т.В. Шелаева, О.О. Крадецкая, И.В. Чилимова // Вестник ОмГАУ. – 2020. - № 2 (38). – С. 99-111.

2. Утебаев, М.У. Разнообразие высокомолекулярных субъединиц глютенина и оценка генетического сходства яровой мягкой пшеницы созданной в различных селекционных учреждениях / М.У. Утебаев, Н.А. Боме, Е.С. Земцова, О.О. Крадецкая, И.В. Чилимова // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции – 2021. – 182(1). – С. 99-109.

3. Утебаев, М.У. Качество зерна сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Западно-Сибирской селекции в условиях Северного Казахстана / М.У. Утебаев, Т.В.

Шелаева, Н.А. Боме, И.В. Чилимова, О.О. Крадецкая, С.М. Дашкевич, В.В. Новохатин, Л.И. Вайсфельд // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции – 2022. – 183(3). – С. 27-38.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных Web of Science и Scopus

1. Utebayev, M. Application of gliadin polymorphism for pedigree analysis in common wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan / M. Utebayev, S. Dashkevich, A. Babkenov, G. Shtefan, I. Fahrudanova, S. Bayahmetova, B. Sharipova, Z. Kaskarbayev, Y. Shavrukov // Acta Physiologiae Plantarum. – 2016. - 38. - 204.

2. Зайцева, О.И. Аллельное разнообразие генов высокомолекулярных глютеинов у мягкой пшеницы / О.И. Зайцева, А.А. Буракова, А.Т. Бабкенов, С.А. Бабкенова, М.У. Утебаев, В.А. Лемеш // Цитология и генетика. – 2017. – 51(6). – Р. 432-440.

3. Utebayev, M. Genetic diversity of gliadin alleles in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan / M. Utebayev, S. Dashkevich, N. Bome, K. Bulatova, Y. Shavrukov // PeerJ. – 2019. – 7:e7082.

4. Utebayev, M. Genetic polymorphism of glutenin subunits with high molecular weight and their role in grain and dough qualities of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) from Northern Kazakhstan / M. Utebayev, S. Dashkevich, K. Kunanbayev, N. Bome, B. Sharipova, Y. Shavrukov // Acta Physiologiae Plantarum. – 2019. – 41(5). - 71.

5. Utebayev, M.U. Allelic composition of gliadin-coding loci as a 'portrait' in spring soft wheat selections of Russian and Kazakh origins / M.U. Utebayev, Y.Y. Dolinny, S.M. Dashkevich, N.A. Bome // SABRAO Journal of Breeding and Genetics – 2022. – 54(4). – 755-766.

Авторское свидетельство, удостоверение автора и патенты

1. Авторское свидетельство №748 РК. Сорт пшеницы мягкой яровой Таймас. По заявке № 18103962 от 06 ноября 2018 г. // Обладатель ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» / Авторы: Бабкенов А.Т., Шелаева Т.В., Каиржанов Е.К., Бабкенова С.А., Дашкевич С.М., Утебаев М.У. Зарегистрировано в Государственном реестре селекционных достижений рекомендуемых к использованию в Республике Казахстан 20 апреля 2022 г.

2. Удостоверение автора селекционного достижения №4698 РК. Сорт пшеница мягкая яровая Таймас // Обладатель ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» / Авторы: Бабкенов А.Т., Шелаева Т.В., Каиржанов Е.К., Бабкенова С.А., Дашкевич С.М., Утебаев М.У.

3. Патент №1034 РК от 13 января 2023 г. Пшеница мягкая яровая Таймас // Патентообладатель ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» / Авторы: Бабкенов А.Т., Шелаева Т.В., Каиржанов Е.К., Бабкенова С.А., Дашкевич С.М., Утебаев М.У.

4. Удостоверение автора селекционного достижения №4680 РК. Сорт пшеница мягкая яровая Аль-Фараби 2020 // Обладатель ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» / Авторы: Бабкенов А.Т., Шелаева Т.В., Каиржанов Е.К., Абдуллаев К.К., Бабкенова С.А., Утебаев М.У.

5. Патент №995 РК от 10 января 2022 г. Пшеница мягкая яровая Аль-Фараби 2020 // Патентообладатель ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева» / Авторы: Бабкенов А.Т., Шелаева Т.В., Каиржанов Е.К., Абдуллаев К.К., Бабкенова С.А., Утебаев М.У.

Публикации в прочих изданиях

1. Утебаев, М.У. Идентификация и регистрация образцов мягкой пшеницы по электрофоретическим спектрам запасных белков / М.У. Утебаев, С.М. Дашкевич, Н.А. Боме, И.В. Чилимова, О.О. Крадецкая // Международная научно-практическая конференция молодых ученых «Наука и инновации. Векторы развития», Барнаул, 24-25 октября 2018 г. – 2018. – С. 54-56.
2. Утебаев, М.У. Идентификация аллелей глиадинкодирующих локусов сортов яровой мягкой пшеницы селекции НПЦЗХ им. А.И. Бараева / М.У. Утебаев, Н.А. Боме, С.М. Дашкевич // XV Всероссийская (с международным участием) научно-практическая конференция «Тобольск – научный 2018», г. Тобольск, 15-16 ноября 2018 г. – 2018. – С. 86-89.
3. Утебаев, М.У. Накопление каротиноидных пигментов в зерне яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в условиях Северного Казахстана / М.У. Утебаев, С.М. Дашкевич, А.Т. Бабкенов, Н.А. Боме // IV Международная научно-практической конференция «Генофонд и селекция растений», г. Новосибирск, 4–6 апреля 2018 г. – 2018. – С. 363-366.
4. Утебаев, М.У. Внутрисортовой полиморфизм сорта яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Тюменская 29 в условиях Северного Зауралья / М.У. Утебаев, Н.А. Боме, С.М. Дашкевич, Д.Д. Фасылова // XIX Всероссийская конференция молодых учёных «Биотехнология в растениеводстве, животноводстве и сельскохозяйственной микробиологии», г. Москва, 15-16 апреля 2019 г. – 2019. – С. 88-89.
5. Утебаев, М.У. Полиморфизм глиадинкодирующих локусов яровой мягкой пшеницы Карагандинского и Челябинского НИИСХ / М.У. Утебаев, Ю.Ю. Долинный, Н.А. Боме // Республиканская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы биологии и экологии», г. Караганда, 10-11 декабря 2020 г. – 2020. – С. 151-152.
6. Утебаев, М.У. Идентификация сортов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) Северного Зауралья на основе полиморфизма глиадинов / М.У. Утебаев, Н.А. Боме, О.О. Крадецкая, И.В. Чилимова. // Сателлитный симпозиум V Международной конференции «Генофонд и селекция растений», г. Новосибирск, 11–13 ноября 2020 г. – 2020. – С. 168-170.
7. Утебаев, М.У. Идентификация аллелей глютенинкодирующих локусов яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) тюменской селекции / М.У. Утебаев, Н.А. Боме // Международная научно-практической конференция «Экосистемные услуги и менеджмент природных ресурсов», г. Тюмень, 28-30 ноября 2019 г. – 2019. – С. 80-82.
8. Utebayev, M.U. Allelic diversity of gliadin-coding loci of common wheat (*Triticum aestivum* L.) of Siberian and Kazakh breeding / M.U. Utebayev, N.A. Bome, I.V. Chilimova, O.O. Kradetskaya, Y.Y. Dolinny, L.I. Weisfeld // 6th International scientific conference “Plant genetics, genomics, bioinformatics and biotechnology” (PlantGen2021), Novosibirsk, 14-18 June 2021 – 2021. – С. 227.