МРНТИ 68.35.03
УДК 631.52
https://doi.org/10.52269/KGTD2531110

## МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕНОВ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

*Абдуллоев Ф.М.* – докторант 2 курса ОП «Генетика и селекция сельскохозяйственных культур», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

*Савин Т.В. – кандидат биологических наук, Председатель правления, ТОО «НПЦЗХ им. А.И.Бараева», п.Научный, Республика Казахстан.*

*Зотова Л.П. – доктор PhD, старший преподаватель кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

*Дюсибаева Э.Н. – доктор PhD, ассоциированный профессор кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан.*

*В работе представлена информация о детекции комбинаций генов, влияющих на повышение качества зерна мягкой яровой пшеницы казахстанской селекции. Были идентифицированы аллели генов Glu-D1 x2-x5, Glu-D1 y10-y12, Glu-A1, Glu-B1-x7 (glutenin) Wx-A1, Wx-D1, Wx-B1 (waxy)., отвечающие за повышение или понижение качества зерна пшеницы. Аллельные варианты генов Glu, осуществляют генетический контроль компонентного состава глютенинов, среди них особое значение имеет локус Glu-1, отвечающий за биосинтез высокомолекулярных (HMW-GS) глютенинов. Крахмал пшеницы, в основном, формируется за счёт двух типов полисахаридов – амилозы и амилопектина. Синтез амилозы осуществляется в амилопластах при участии фермента гранулосвязанной крахмалсинтазы (GBSS, granule-bound starch synthase), также известного как вакси-белок.*

*Работа проводилась с 37 образцами пшеницы казахстанской селекции, такими как 347/11, 233/10, 342/08, 199/14-1, 249/14-2, 215/14, 242/15, 204/14-1, 274/13, , 241/14, 182/14, 216/12, 169/15, 224/14, 52/15, 285/16, 166/14, 194/14, 322/14, 210/14, 73/15, 132/15, 48/14, 143/09, 241/14-2, 83/05, 204/14-2, 307/14, 326/16-1, 86/15, 129/14, 326/16-1, 249/14-4, в качестве стандартов выступали такие сорта как: Асыл Сапа st, Астана, Акмола 2, Целинная Юбилейная. (ТОО «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И.Бараева). По результатам исследования были выявлены образцы доноры, с лучшей комбинацией генов качества, такие как Асыл Сапа st, Астана, 169/15, 73/15, 204/14-2, 86/15, 166/14, 347/11, 241/14, 132/15, 129/14, которые могут быть рекомендованы для дальнейшего использования в селекционных программах при создании высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы.*

***Ключевые слова:*** *яровая мягкая пшеница, глютенины, waxy, качество, молекулярные маркеры.*

## ЖАЗДЫҚ ЖҰМСАҚ БИДАЙДЫҢ АСТЫҚ САПАСЫНЫҢ ГЕНДЕРІНІҢ МОЛЕКУЛАЛЫҚ-ГЕНЕТИКАЛЫҚ ТАЛДАУЫ

*Абдуллоев Ф.М.* – "Ауыл шаруашылығы дақылдарының генетикасы және селекциясы" 2 курс докторанты, "С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті" КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

*Савин Т.В. – биология ғылымдарының кандидаты, «А.И.Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС басқарма төрағасы, Научный қ, Қазақстан Республикасы.*

*Зотова Л.П. – PhD докторы, "Егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының аға оқытушысы, "С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті" КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

*Дюсибаева Э.Н. – PhD докторы, "Егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, "С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті" КЕАҚ, Астана қ., Қазақстан Республикасы.*

*Жұмыста қазақстандық селекцияның жұмсақ жаздық бидай дәнінің сапасын арттыруға әсер ететін гендер комбинацияларын анықтау туралы ақпарат берілген. Бидай дәнінің сапасын арттыруға немесе төмендетуге жауапты Glu-D1 x2-x5, Glu-D1 y10-y12, Glu-A1, Glu-B1-x7, Wx-A1, Wx-D1, Wx-B1 гендік аллельдері анықталды. Glu гендерінің аллельді нұсқалары глютениндердің компоненттік құрамын генетикалық бақылауды жүзеге асырады, олардың ішінде жоғары молекулалық (HMW-GS) глютениндердің биосинтезіне жауап беретін Glu-1 локусы ерекше маңызға ие.*

*Бидай крахмалы негізінен полисахаридтердің екі түрі – амилоза және амилопектин арқылы түзіледі. Амилоза синтезі амилопласттарда вакси ақуызы деп те аталатын түйіршікпен байланысқан крахмал синтаза ферментінің (GBSS, granule-bound starch synthase), қатысуымен жүзеге асырылады.*

*Жұмыс Қазақстандық селекциядағы бидайдың 37 үлгісімен жүргізілді, мысалы 347/11, 233/10, 342/08, 199/14-1, 249/14-2, 215/14, 242/15, 204/14-1, 274/13, , 241/14, 182/14, 216/12, 169/15, 224/14, 52/15, 285/16, 166/14, 194/14, 322/14, 210/14, 73/15, 132/15, 48/14, 143/09, 241/14-2, 83/05, 204/14-2, 307/14, 326/16-1, 86/15, 129/14, 326/16-1, 249/14-4, стандарт ретінде Асыл Сапа st, Астана, Ақмола 2, st тың мерейтойлық st сияқты сорттар болды. ("А.И. Бараев атындағы Астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС.). Зерттеу нәтижелері бойынша Асыл Сапа st, Астана сияқты сапалы гендердің үздік комбинациясы бар донорлар үлгілері анықталды, 169/15, 73/15, 204/14-2, 86/15, 166/14, 347/11, 241/14, 132/15, 129/14, жаздық жұмсақ бидайдың жоғары сапалы сорттарын жасау кезінде селекциялық бағдарламаларда одан әрі пайдалану ұсынылуы мүмкін.*

***Түйінді сөздер:*** *жаздық жұмсақ бидай, глютениндер, waxy, сапа, молекулалық маркерлер.*

## MOLECULAR GENETIC ANALYSIS OF GENES OF GRAIN QUALITY OF SPRING SOFT WHEAT

*Abdulloyev F.M.* – 2nd year PhD student, "Genetics and crop breeding" educational program, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*Savin T.V. – Candidate of Biological Sciences, Chairman of the Management Board of A.I.Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Nauchnyi, Republic of Kazakhstan.*

*Zotova L.P. – PhD, Senior Lecturer of the Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*Dyussibayeva E.N. – PhD, Associate Professor of the Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Astana, Astana, Republic of Kazakhstan.*

*The article presents information on the detection of gene combinations that affect the improvement of the quality of soft spring wheat grain of Kazakhstani breeding. Alleles of genes Glu-D1 x2-x5, Glu-D1 y10-y12, Glu-A1, Glu-B1-x7 (glutenin) Wx-A1, Wx-D1, Wx-B1 (waxy), responsible for increasing or decreasing the quality of wheat grain have been identified. Allelic variants of Glu genes carry out genetic control of the component composition of glutenins, among them the Glu-1 locus, responsible for the biosynthesis of high molecular weight (HMW-GS) glutenins, is of particular importance. Wheat starch is mainly formed by two types of polysaccharides – amylose and amylopectin. Amylose synthesis is carried out in amyloplasts with the participation of the enzyme granule-bound starch synthase (GBSS), also known as waxy protein.*

*The work was carried out with 37 samples of Kazakhstani wheat breeding, such as 347/11, 233/10, 342/08, 199/14-1, 249/14-2, 215/14, 242/15, 204/14-1, 274/13, 241/14, 182/14, 216/12, 169/15, 224/14, 52/15, 285/16, 166/14, 194/14, 322/14, 210/14, 73/15, 132/15, 48/14, 143/09, 241/14-2, 83/05, 204/14-2, 307/14, 326/16-1, 86/15, 129/14, 326/16-1, 249/14-4. The standards were such varieties as: Asyl Sapa, Astana, Akmola 2, Tselinnaya Yubileinaya (A.I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP). According to the research results, donor samples with the best combination of quality genes were identified, such as Asyl Sapa, Astana, 169/15, 73/15, 204/14-2, 86/15, 166/14, 347/11, 241/14, 132/15, 129/14, which are recommended for further use in breeding programs when creating high-quality varieties of spring soft wheat.*

***Key words:*** *spring soft wheat, gluten, waxy, quality, molecular markers.*

**Введение.**

Пшеница является одной из ведущих и самой востребованной культурой из всех зерновых в сельском хозяйстве. Основной объём выработанного зерна используется для производства хлебобулочных и макаронных изделий [1, с. 379].

Качество зерна пшеницы является одним из важнейших факторов, который определяет его пригодность для различных целей, таких как производство муки, кормов для животных, биотоплива и других продуктов. Хлебопекарное качество продукции, получаемой из зерна пшеницы в большей степени обусловлено как содержанием клейковины, так и её реологическими характеристиками [2, с. 10].

Качество зерна определяется тремя основными генетическими системами, функция которых заключается в контроле биосинтеза конкретных белков клейковины и других белков зерна. Гены Glu, контролируют компонентный состав глютенинов, гены Gli, отвечающие за синтез глиадинов, и локус Ha, регулирующие консистенцию эндосперма, играют важную роль в формировании качества пшеницы. Среди них особое значение имеет локус Glu-1, отвечающий за биосинтез высокомолекулярных (HMW-GS) глютенинов*. А с учетом положительного влияния аллельных вариантов Glu-D1d (5+10) и Glu-A1b (Ax2*) HMW-GS на повышение мукомольно-хлебопекарных качеств, конкурентного преимущества Glu-A1b над Glu-A1a (Ax1), и отрицательного влияния аллелей Glu-D1a (2+12) и Glu-A1c (Axnull), приводящих к снижению хлебопекарных свойств пшеницы, одной из наиболее хозяйственно-ценных

комбинаций HMW субъединиц глютенинов, ассоциированных с высокими качествами зерна, является желаемая для селекции комбинация Ax2*/5+10 [3, с. 361].

Крахмальные гранулы пшеницы формируются преимущественно за счёт двух типов полисахаридов – амилозы и амилопектина. Отсутствие амилозы приводит к существенным изменениям как в молекулярной структуре крахмала, так и в его функционально-технологических характеристиках. Крахмал, получаемый из зерна восковой (*waxy*) пшеницы, т.е., содержащей в своем составе нуль-аллели генов *Wx-A1, Wx-B1* и *Wx-D1* практически полностью состоит из амилопектина в связи с инактивацией фермента гранулсвязанной крахмало-синтазы (GBSS), ответственного за синтез амилозы. Синтез амилозы происходит в амилопластах при участии фермента гранулосвязанной крахмалсинтазы (GBSS, granule-bound starch synthase), также известного как вакси-белок. Генетический контроль синтеза данного фермента осуществляется семейством генов *Wx* (*waxy*). У мягкой пшеницы, являющейся аллогексаплоидом (геномный состав AABBDD), присутствуют три гомеологичных локуса: *Wx-A1, Wx-B1* и *Wx-D1.*

Согласно проведенным исследованиям, известно, что нефункциональные нуль-аллели локусов *Wx-A1, Wx-B1* и *Wx-D1 Waxy*-генов пшеницы имеют прямое влияние на образование крахмала амилопектинового типа, где наиболее существенное снижение содержания амилозы оказывает хозяйственноценный нулевой аллель *Wx-B1*-локуса – *Wx-B1b,* идентификация которого диагностически значима [4, с. 751].

Амилопектиновый крахмал способствует формированию более мягкой, эластичной текстуры продуктов, снижает их склонность к черствению и улучшает устойчивость к механическим и температурным воздействиям в процессе хранения. Однако при этом наблюдается снижение способности к гелеобразованию и ухудшение хлебопекарных качеств, особенно при производстве традиционного хлеба, где амилоза играет ключевую роль в формировании структуры мякиша [5, с. 130].

Разработка высококачественных сортов пшеницы является сложной задачей для селекционеров, которая осложняется недостатком изученности молекулярно-генетических основ, лежащих в основе качества зерна.

Использование молекулярно-генетических методов и маркерной селекции способствует ускорению идентификации генотипов с благоприятными показателями качества зерна пшеницы. Важным направлением исследований является детальная характеристика аллельного состава генов, ответственных за формирование качественных свойств муки у перспективных сортов.

**Цель исследования:** обнаружение аллельных комбинаций генов Glu-D1 x2-x5, Glu-D1 y10-y12, Glu-A1, Glu-B1-x7, Wx-A1, Wx-D1, Wx-B1, отвечающих за повышение или понижение качества зерна пшеницы и их влияние на показатели процентного содержания белка, количества и качества клейковины в зерне пшеницы.

**Задачи исследования:**

1. Идентифицирование аллельных комбинаций генов Glu-D1 (x2–x5, y10–y12), Glu-A1, Glu-B1-x7, Wx-A1, Wx-D1, Wx-B1, ассоциированных с высоким содержанием белка и клейковины в зерне пшеницы.
2. Оценка влияния различных комбинаций аллелей генов Glu и Wx на снижение качества зерна.

**Материалы и методы исследования**

Исследования проводились на базе лаборатории ТОО «НПЦЗХ им.А.И.Бараева».

Растительный материал представлен 37 образцами КСИ яровой мягкой пшеницы, ТОО «НПЦЗХ им.А.И.Бараева»: 347/11, 233/10, 342/08, 199/14-1, 249/14-2, 215/14, 242/15, 204/14-1, 274/13, , 241/14, 182/14, 216/12, 169/15, 224/14, 52/15, 285/16, 166/14, 194/14, 322/14, 210/14, 73/15, 132/15, 48/14, 143/09, 241/14-2, 83/05, 204/14-2, 307/14, 326/16-1, 86/15, 129/14, 326/16-1, 249/14-4, Астана, Акмола 2, Целинная Юбилейная, в качестве стандарта выступил сорт сильной пшеницы Асыл Сапа st.

Выделение ДНК из растительного материала осуществлялось из 10-дневных проростков пшеницы с помощью CTAB-метода [6, с. 19].

Чистоту и концентрацию выделенных ДНК изучали с помощью спектрофотометра NanoDrop 2000 (Thermo Fisher Scientific, USA).

Были подобраны молекулярные маркеры (праймеры) к генам *Glu-D1 x2-x5, Glu-D1 y10-y12*, *Glu-A1, Glu-B1 x7, Wx-A1, Wx-D1.* Праймеры синтезированы в лаборатории органического синтеза, ТОО «Национальный центр биотехнологии».

*Таблица 1* – Прямые и обратные праймеры, комплиментарные генам качества пшеницы

| № | Наименование праймеров | Primer sequences (5’ to 3’) | Ссылки на источник |
|---|---|---|---|
| 1 | *UMN 19 – GluA1 Ax1-Ax2* (362, 344 п.н.) | Forward: CGAGACAATATGAGCAGCAAG | Liu S et al. (2008) [7, с. 177] |
| | | Reverse: CTGCCATGGAGAAGTTGGA | |
| 2 | *UMN25 – GluD1 x2-x5* (299, 281 п.н.) | Forward: GGGACAATACGAGCAGCAAA | Liu S et al. (2008) [7, с. 177] |
| | | Reverse: CTTGTTCCGGTTGTTGCCA | |

*Продолжение таблицы 1*

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3 | *UMN 26 – GluD1 y10-y12* (397, 415 п.н.) | Forward: CGCAAGACAATATGAGCAAACT | Liu S et al. (2008) [7, с. 177] |
| | | Reverse: TTGCCTTTGTCCTGTGTGC | |
| 4 | *Glu Bx 7* (477 п.н.) | Forward: ACGTGTCCAAGCTTTGGTTC | Ragupathy R et al. (2008) [8, с. 116] |
| | | Reverse: GATTGGTGGGTGGATACAGG | |
| | | Reverse: TCGTACCCGTCGATGAAGTCGA | |
| 5 | *Wx-A1* | Forward: CGCTCCCTGAAGAGAGAAAGAA | Shariflou, M.R et al. (1999) [9, с. 1439] |
| | | Reverse: ATAGGCACAACCCCTAAC | |
| 6 | *Wx-D1* | Forward: ACAGGATCTCTCCTGGAAG | Shariflou, M.R et al. (2001) [10, с. 121] |
| | | Reverse: GCAAGGAAAATAGTGAAGC | |

Амплификацию маркерных генов проводили в конечном объёме реакции 15 мкл, который включал: *1,5 мМ Se-буфер*, *2 мМ dNTP*, *50 мМ $MgCl_2$*, 10 пмоль прямого и обратного праймеров, *1 U Taq DNA* полимеразы и ДНК с концентрацией 100 нг/мкл. Для проведения ПЦР использовался амлификатор *SimpliAmp Thermal Cycler (Thermo Fisher Scientific, США)*. В качестве отрицательного контроля использовали реакционную смесь без добавления ДНК.

Полимеразная цепная реакция проводилась со следующими условиями термоциклирования:

*Таблица 2* – Условия термоциклирования ПЦР

| Локусы | Праймеры | Условия термоциклирования ПЦР | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Денатурация | Отжиг праймера | Элонгация |
| *Glu-D1 x2-x5* | *Glu-D1 x2-x5* | 95 ºС/5м | 58 ºС/30с | 72 ºС/1м |
| *Glu-D1 y10-y12* | *Glu-D1 y10-y12* | 95 ºС/5м | 60 ºС/30с | 72 ºС/1м |
| *Glu-A1* | *Glu-A1 1-2* | 95 ºС/5м | 58 ºС/30с | 72 ºС/1м |
| *Glu-B1 x7* | *Glu-B1 x7* | 95 ºС/5м | 58 ºС/30с | 72 ºС/1м |
| *Wx-A1* | *Wx-A1* | 95 ºС/5м | 56 ºС/30с | 72 ºС/1м |
| *Wx-D1* | *Wx-D1* | 95 ºС/5м | 56 ºС/30с | 72 ºС/1м |

Разделение продуктов амплификации осуществляли на 1,5% агарозном геле с добавлением бромистого этидия. В качестве электродного буфера использовали 1× TBE-буфер.

Документирование полученных результатов проводили с помощью системы для документирования гелей *GelDoc* (*VilberLourmat, Франция*). В качестве маркера молекулярных масс применяли ДНК маркер 1 kb Generuler (*Thermo Fisher Scientific, США*).

**Результаты и обсуждения.**

В статье представлены результаты исследования 37 образцов мягкой яровой пшеницы на наличие высокомолекулярных глютенинов, локусов *Glu-D, Glu-A и Glu-B* и генов семейства *Waxy* методом полимеразной цепной реакции (рисунок 1-4) проведен статистический и корреляционный анализ их влияния на показатели процентного содержания белка, количества и качества клейковины в зерне пшеницы.

После проведения ПЦР-анализа и последующего электрофореза, с целью детекции аллелей генов *GluD1 x2-x5* и *GluD1 y10-y12* аллели, отвечающих за выработку высокомолекулярных глютенинов, размером 299, 281, 397, 415 п.н. соответственно были получены следующие результаты, рисунок 1.

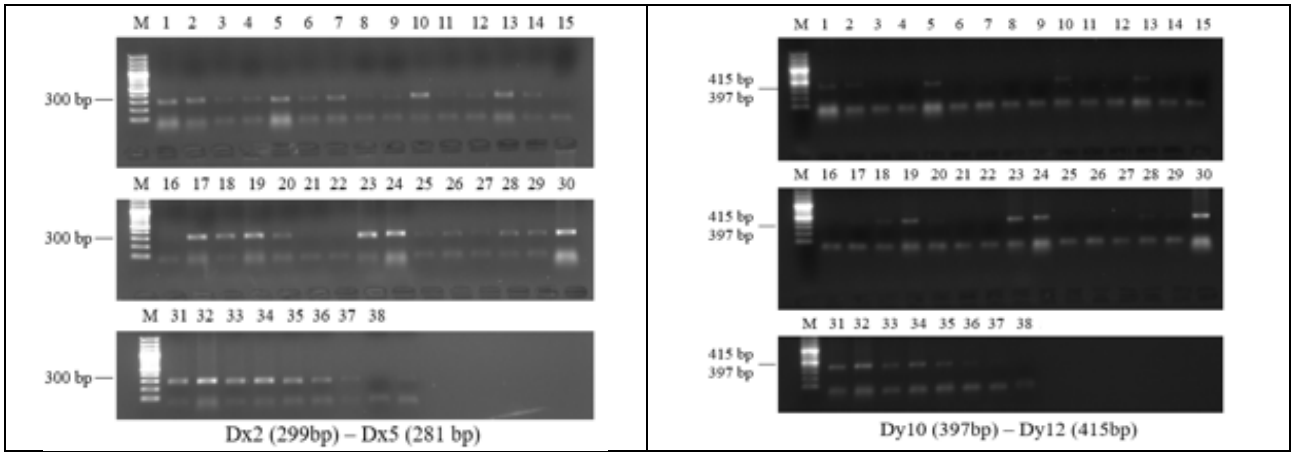


*Рисунок 1* – Электрофорез продуктов ПЦР сортообразцов, полученных для генов *GluD1 x2-x5* и *GluD1 y10-y12*

*М – маркер DNA Ladder 1kb,* 1 образец – Асыл Сапа st, 2 образец – Астана , 3 образец – 347/11, 4 образец – 233/10, 5 образец – 342/08, 6 образец – 199/14-1, 7 образец – 249/14-2, 8 образец – 215/14, 9 образец – 242/15, 10 образец – 204/14-1, 11 образец – 274/13, 12 образец – Акмола 2, 13 образец – 241/14, 14 образец – 182/14, 15 образец – 216/12, 16 образец – 169/15, 17 образец – 224/14, 18 образец – 52/15, 19 образец – 285/16, 20 образец – 166/14, 21 образец – 194/14, 22 образец – 322/14, 23 образец – 210/14, 24 образец – 73/15, 25 образец – 132/15, 26 образец – 48/14, 27 образец – Целинная Юбилейная, 28 образец – 143/09, 29 образец – 241/14-2, 30 образец – 83/05, 31 образец – 204/14-2, 32 образец – 307/14, 33 образец – 326/16-1, 34 образец – 86/15, 35 образец – 129/14, 36 образец – 326/16-1, 37 образец – 249/14-4, 38 образец – отрицательный контроль

В образце Асыл Сапа st, являющимся стандартом была детектирована совокупность аллелей *GluD1 x5-y10,* повышающая качество получаемого зерна. В образцах Акмола 2 и Целинная юбилейная был идентифицирован аллельный вариант *GluD1 x5*, аллели *GluD1 y10* детектировано не было. Среди гибридов пшеницы можно выделить следующие образцы, несущие полезные варианты аллелей, как: 342/08, 166/14, 143/09, 204/14-2, 326/16-1, 129/14, 241/14. Необходимо отметить, что совокупность аллелей генов *x2-y12* в свою очередь снижает качество пшеницы, но знание наличия данных аллелей в образцах является необходимой задачей, так как может помочь в селекции зерновых. В рамках исследования был проведен анализ на идентификацию аллелей гена *Glu A1/A2*, наличие данных аллелей в исследуемых образцах в совокупности с генами *GluD1,* комбинацией (*x5+y10*) повышает выработку высокомолекулярных глютенинов, что в свою очередь положительно сказывается на качестве производимой из зерна муки, рисунок 2.

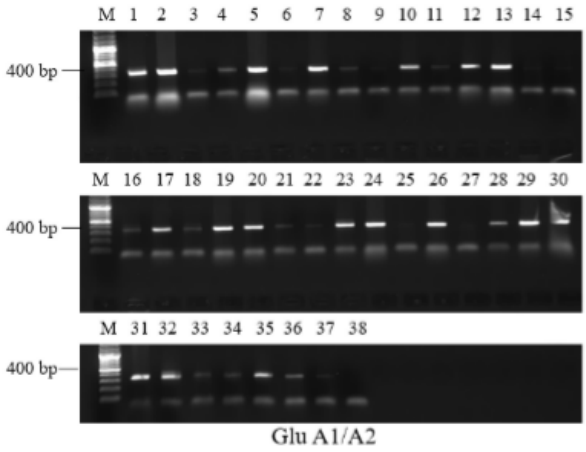


*Рисунок 2* – Электрофорез продуктов ПЦР сортообразцов, полученных для гена *GluA1 Ax1-Ax2*

На рисунке 2 представлен результат проведения ПЦР-анализа с целью детекции искомого участка гена *GluA1 Ax1-Ax2,* отвечающего за повышения качества зерна пшеницы. По результатам анализа можно сделать вывод о наличии данных аллелей гена во всех образцах, кроме: 182/14, 216/12, 132/15, Целинная Юбилейная.

Следующая аллель, оказывающая положительное влияние на повышение качества зерна пшеницы – *Glu Bx7*, наличие данной аллели оказывает положительный эффект, независимо от наличия или отсутствия других генов, оказывающих воздействие на качество зерна, рисунок 3.

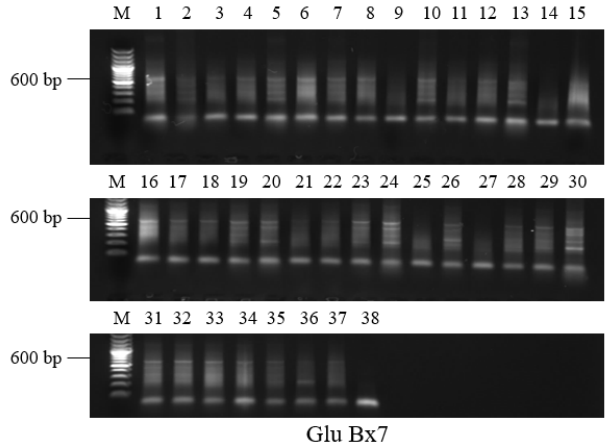


*Рисунок 3* – Электрофорез продуктов ПЦР сортообразцов, полученных для гена *Glu-Bx7*

Аллель гена *Glu Bx7* не была идентифицирована в образцах 242/15, 182/14, 132/15. Во всех остальных изученных образцах данная аллель была идентифицирована, что является положительным результатом.

В данной работе было проанализировано наличие аллелей генов *Wx-A1*(300 п.н)*, Wx-D1* (800 п.н.)*,* улучшающих качество пшеницы за счет увеличения амилозы, а также было рассмотрено наличие нуль-аллелей генов *Wx-D1,* размер которых составляет 279 п.н., приводящее к увеличению амилопектина, относительно амилозы (рисунок 4).

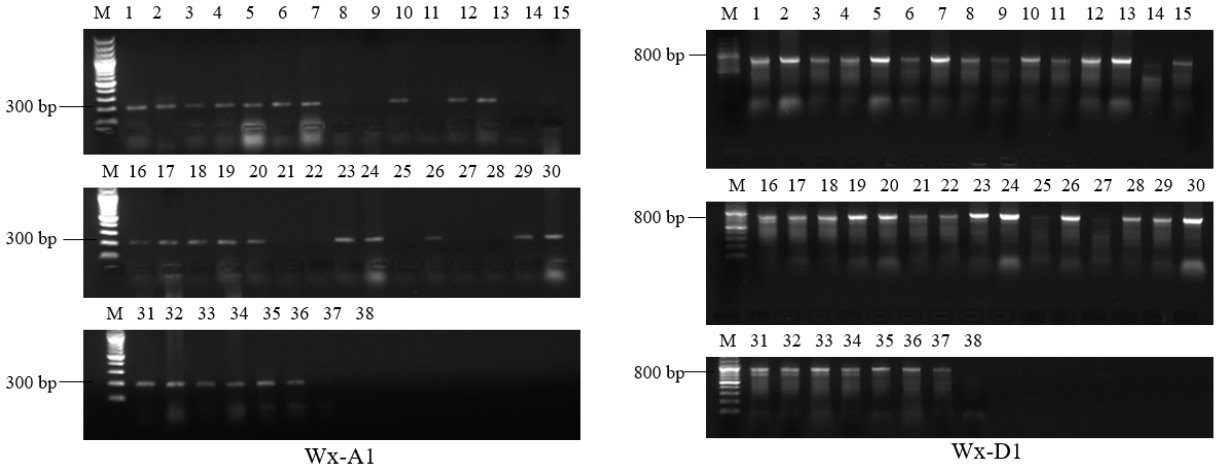


*Рисунок 4* – Электрофорез продуктов ПЦР сортообразцов, полученных для генов *Wx-A1 и Wx-D1*

После проведения ПЦР и электрофоретического анализа ген *Wx-A1* был обнаружен во всех образцах, кроме 215/14, 242/15, 274/13, 182/14, 216/12, 194/14, 322/14, 132/15, Целинная Юбилейная, 143/09. Наличие данного гена оказывает положительный эффект на выработку амилозы, второго основного компонента крахмала, и соответственно прямо влияет на улучшение хлебопекарных качеств, получаемого из зерна пшеницы продукта. Схожий эффект оказывает наличие гена *Wx-D1*, который был идентифицирован во всех образцах, кроме: 182/14, Целинная Юбилейная. Также был проведен анализ на идентификацию нуль-аллеля гена *Wx-D1* (279 п.н.), приводящий к снижению синтеза фермента амилозы и увеличивающий выработку амилопектина. Данный нуль-аллель не был идентифицирован ни в одном исследуемом образце.

По результатам ПЦР-анализа были идентифицированы изучаемые гены в 37 образцах и был сделан вывод о наличии или отсутствии генов качества пшеницы. Следует выделить образец Асыл Сапа st, являющийся стандартом и несущем комплекс полезных генов качества, таких как: *GluD1 x5, Glu D1 y10, Glu A1-A2, Glu Bx7, Wx-A1, Wx-D1,* и на основе данного сорта анализировать изученные образцы. По результатам проведенного скрининга в сорте Астана были идентифицированы эффективные гены *GluD1 x5, Glu D1 y10, Glu A1-A2, Glu Bx7, Wx-A1, Wx-D1*, отвечающие за повышение качества зерна пшеницы, путем повышения содержания глютенинов и амилозы соответственно. Были детектированы эффективные гены, повышающие качество зерна в гибридах: 342/08, 166/14, 143/09, 204/14-2, 326/16-1, 129/14, 73/15, 86/15, а именно аллели генов *Glu*, отвечающих за повышение качества пшеницы, за счет генетического контроля синтеза высокомолекулярных глютенинов, а также генов семейства *Waxy*, отвечающих за выработку амилозы.

**Обсуждение.**

В настоящее время в мире на всех зерносеющих хозяйствах ежегодно производится около 250 миллионов тонн зерна мягкой пшеницы. Проблемой является тот факт, что более половины сортов, из которой получают конечный продукт, а именно зерно, является по своим характеристикам слабой пшеницей, в то же время сортов со средним качеством зерна в два раза меньше (25-30%), а зерно сортов сильной пшеницы составляет всего лишь 15-20%. Как показывает опыт в неблагоприятных условиях высокий генетический потенциал зерна пшеницы не реализуется. Данные обстоятельства требуют проведения научных исследований с целью повышения качества зерна яровой мягкой пшеницы.

В решении проблем повышения урожая и качества зерна значительная роль отводится селекции. Для повышения эффективности селекционного процесса требуется расширение разнообразия генетического материала. На сегодняшний день перед селекцией поставлены важные задачи создания исходного материала с высоким качеством зерна, потенциал которого будет реализован в производстве за счет устойчивости к абиотическим и биотическим факторам. Решение данной задачи возможно посредством использования современных методов селекции, одним из которых является использование маркеров опосредованной селекции.

Исследования по изучению генетических закономерностей влияния генов качества на характеристику зерна носят масштабный характер, затрагивая страны со всего мира. Среди высокомолекулярного глютенина уже известен ряд белковых маркеров, вносящих больший вклад в качество зерна, так Shewry et al., 1992 [11, с. 1750], в своем исследовании изучали действие отдельных генов на повышение качества белка. Также в исследовании Anjum et al., 2007 [12, с. 193] было показано, что хлебопекарное качество мягких сортов пшеницы в основном зависит от генов локуса Glu-1, а качество макаронных изделий из сортов твердой пшеницы – от Glu-3. В работе An et al., 2005 [13, с. 666], указывается, что для решения проблемы с повышением качества зерна могут быть использованы источники на основе новых генетических систем, в частности дальние сородичи рода Triticum, у которых аллельное разнообразие локусов Glu-1 несравненно богаче, чем у существующих культурных сортов, что дает возможность использовать их для расширения и улучшения генофонда «слабых» по качеству видов. В исследованиях Hayakawa, K. и Kiribuchi-Otobe, C. [14, с. 72] изучается наличие генов семейства Waxy и их влияние на накопление полезных веществ в эндосперме зерна пшеницы.

В данной статье представлена информация о наличии аллельных вариантов генов *GluA1, GluB1* и *GluD1*, которые оказывают как положительное, так и негативное воздействие на содержание белка, а также генов *Wx*, оказывающих влияние на выработку амилозы и амилопектина в зернах пшеницы.

**Заключение.**

По результатам исследования можно сделать вывод, что образцы, показавшие высокий результат качества зерна по белковому составу и качеству клейковины, являются носителями генов качества *GluD1*, а также генов *Wx*. А именно: образцы Асыл Сапа st, Астана, 73/15, 204/14-2, 241/14, 129/14 являются носителями комбинации аллелей генов *GluD1 x5-y10, Glu A1-A2, Glu Bx7,* повышающих качество зерна пшеницы за счет выработки высокомолекулярного глютенина. Также следует обратить внимание на то, что в данных образцах были идентифицированы гены группы *Wx*, также оказывающих положительное влияние на качество производимой из зерна продукции.

В результате проведенных исследований идентифицированы полезные гены качества представляют интерес для включения в селекционные программы, направленные на выведение высококачественных сортов яровой мягкой пшеницы.

**Финансирование.** Данное исследование проведено в рамках научно-технической программы BR24892821 "Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана".

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. **Hu X., Dai S., Yan Y., Liu Y., Zhang J., Lu Z., et al. The genetic diversity of group-1 homoeologs and characterization of novel LMW-GS genes from Chinese Xinjiang winter wheat landraces (Triticum aestivum L.)** [Text] / X. Hu, S. Dai, Y. Yan, et al. // Journal of Applied Genetics. – 2020. – T. 61. – P. 379-389.

2. **Chacón E.A., Vázquez F.J., Giraldo P., Carrillo J.M., Benavente E., Rodriguez-Quijano M. Allelic variation for prolamins in Spanish durum wheat landraces and its relationship with quality traits** [Text] / E.A. Chacón, F.J. Vázquez, P. Giraldo, et al. // Agronomy. – 2020. – T. 10, № 1. – P. 136. – DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy10010136.

3. **Zhao Y., Zhao J., Hu M., Sun L., Liu Q., Zhang Y., et al. Transcriptome and proteome analysis revealed the influence of high-molecular-weight glutenin subunits (HMW-GSs) deficiency on expression of storage substances and the potential regulatory mechanism of HMW-GSs** [Text] / Y. Zhao, J. Zhao, M. Hu, et al. // Foods. – 2023. – T. 12. – P. 361. – DOI: https://doi.org/10.3390/foods12020361.

4. **Ravel C., Faye A., Ben-Sadoun S., Ranoux M., Dardevet M., Du Puits C., et al. SNP markers for early identification of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) in bread wheat** [Text] / C. Ravel, A. Faye, S. Ben-Sadoun, et al. // Theoretical and Applied Genetics. – 2020. – T. 133, № 3. – P. 751–-70. – DOI: https://doi.org/10.1007/s00122-019-03505-y.

5. **Li S., Liu Y., Tong J., Yu L., Ding M., Zhang Z., et al. The overexpression of high-molecular-weight glutenin subunit Bx7 improves the dough rheological properties by altering secondary and micro-structures of wheat gluten** [Text] / S. Li, Y. Liu, J. Tong, et al. // Food Research International. – 2020. – T. 130. – P. 108914. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108914.

6. **Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue** [Text] / J.J. Doyle, J.L. Doyle // Phytochemical Bulletin. – 1987. – T. 19. – P. 11-15.

7. **Liu S., Zhao L., Ma Q., et al. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunits in wheat** [Text] / S. Liu, L. Zhao, Q. Ma, et al. // Theoretical and Applied Genetics. – 2008. – T. 118. – P. 177-183.

8. **Ragupathy R., Cloutier S., et al. Evolutionary origin of the segmental duplication encompassing the wheat GLU-B1 locus encoding the overexpressed Bx7 (Bx7OE) high molecular weight glutenin subunit** [Text] / R. Ragupathy, S. Cloutier, et al. // Theoretical and Applied Genetics. – 2008. – T. 116. – P. 283-296.

9. **Shariflou M.R., Sharp P.J. A polymorphic microsatellite in the 3' end of 'waxy' genes of wheat, Triticum aestivum** [Text] / M.R. Shariflou, P.J. Sharp // Plant Breeding. – 1999. – T. 118. – P. 275-277. – DOI: https://doi.org/10.1046/j.1439.1999.118003275.x.

10. **Shariflou M.R., Hassani M.E., Sharp P.J. A PCR-based DNA marker for detection of mutant and normal alleles of the Wx-D1 gene of wheat** [Text] / M.R. Shariflou, M.E. Hassani, P.J. Sharp // Plant Breeding. – 2001. – Т. 120. – P. 121-124. – DOI: https://doi.org/10.1046/j.1439-0523.2001.00577.x.

11. **Anjum F.M., Khan M.R., Din A., Saeed M., Pasha I., Arshad M.U. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits – structure, genetics, and relation to dough elasticity** [Text] / F.M. Anjum, M.R. Khan, A. Din, et al. // Journal of Food Science. – 2007. – Т. 72, № 3. – P. 56-63. – DOI: https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x.

12. **An X., Li Q., Yan Y., Xiao Y., Xsam S.L.K., Zeller F.J. Genetic diversity of European spelt wheat (Triticum aestivum ssp. spelta L. em. Thell.) revealed by glutenin subunit variations at the Glu-1 and Gli-3 loci** [Text] / X. An, Q. Li, Y. Yan, et al. // Euphytica. – 2005. – Т. 146, № 3. – P. 193-201. – DOI: https://doi.org/10.1007/s10681-005-9002-6.

13. **Hayakawa K., Tanaka K., Nakamura T., Endo S., Hoshino T. End use quality of waxy wheat flour in various grain-based foods** [Text] / K. Hayakawa, K. Tanaka, T. Nakamura, et al. // Cereal Chemistry. – 2004. – Т. 81, № 5. – P. 666-672.

14. **Kiribuchi-Otobe C., Nagamine T., Yanagisawa T., Phnishi M., Yamaguchi I. Production of hexaploid wheats with waxy endosperm character** [Text] / C. Kiribuchi-Otobe, T. Nagamine, T. Yanagisawa, et al. // Cereal Chemistry. – 1997. – Т. 74. – P. 72-74.

**REFERENCES:**

1. **Hu X., Dai S., Yan Y., Liu Y., Zhang J., Lu Z., et al. The genetic diversity of group-1 homoeologs and characterization of novel LMW-GS genes from Chinese Xinjiang winter wheat landraces (Triticum aestivum L.).** *Journal of Applied Genetics*, 2020, vol. 61, pp. 379-389.

2. **Chacón E.A., Vázquez F.J., Giraldo P., et al. Allelic variation for prolamins in Spanish durum wheat landraces and its relationship with quality traits.** *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 1, art. 136. DOI: 10.3390/agronomy10010136.

3. **Zhao Y., Zhao J., Hu M., Sun L., Liu Q., Zhang Y., et al. Transcriptome and proteome analysis revealed the influence of high-molecular-weight glutenin subunits (HMW-GSs) deficiency on expression of storage substances and the potential regulatory mechanism of HMW-GSs.** *Foods*, 2023, vol. 12, art.361. DOI: 10.3390/foods12020361.

4. **Ravel C., Faye A., Ben-Sadoun S., Ranoux M., Dardevet M., Du Puits C., et al. SNP markers for early identification of high molecular weight glutenin subunits (HMW-GSs) in bread wheat.** *Theoretical and Applied Genetics*, 2020, vol. 133, no. 3, pp. 751-770. DOI: 10.1007/s00122-019-03505-y.

5. **Li S., Liu Y., Tong J., Yu L., Ding M., Zhang Z., et al. The overexpression of high-molecular-weight glutenin subunit Bx7 improves the dough rheological properties by altering secondary and micro-structures of wheat gluten.** *Food Research International*, 2020, vol. 130, art. 108914. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108914.

6. **Doyle J.J., Doyle J.L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue.** *Phytochemical Bulletin*, 1987, vol. 19 (1), pp. 11-15.

7. **Liu S., et al. New DNA markers for high molecular weight glutenin subunits in wheat.** *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, vol. 118, pp. 177-183.

8. **Ragupathy R., et al. Evolutionary origin of the segmental duplication encompassing the wheat GLU-B1 locus encoding the overexpressed Bx7 (Bx7OE) high molecular weight glutenin subunit.** *Theoretical and Applied Genetics*, 2008, vol. 116, pp. 283-296.

9. **Shariflou M.R., Sharp P.J. A polymorphic microsatellite in the 3' end of 'waxy' genes of wheat, Triticum aestivum.** *Plant Breeding*, 1999, vol. 118, pp. 275-277. DOI: 10.1046/j.1439.1999.118003275.x.

10. **Shariflou M.R., Hassani M.E., Sharp P.J. A PCR-based DNA marker for detection of mutant and normal alleles of the Wx-D1 gene of wheat.** *Plant Breeding*, 2001, vol. 120, pp. 121-124. DOI: 10.1046/j.1439-0523.2001.00577.x.

11. **Anjum F.M., Khan M.R., Din A., et al. Wheat gluten: high molecular weight glutenin subunits – structure, genetics, and relation to dough elasticity.** *Journal of Food Science*, 2007, vol. 72, no. 3, pp. 56-63. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2007.00292.x.

12. **An X., Li Q., Yan Y., et al. Genetic diversity of European spelt wheat (Triticum aestivum ssp. spelta L. em. Thell.) revealed by glutenin subunit variations at the Glu-1 and Gli-3 loci.** *Euphytica*, 2005, vol. 146, no. 3, pp. 193-201. DOI: 10.1007/s10681-005-9002-6.

13. **Hayakawa K., Tanaka K., Nakamura T., Endo S., Hoshino T. End use quality of waxy wheat flour in various grain-based foods.** *Cereal Chemistry*, 2004, vol. 81, no. 5, pp. 666-672.

14. **Kiribuchi-Otobe C., Nagamine T., Yanagisawa T., Phnishi M., Yamaguchi I. Production of hexaploid wheats with waxy endosperm character.** *Cereal Chemistry*, 1997, vol. 74, pp. 72-74.

**Сведения об авторах:**

*Абдуллоев Фируз Махмадсаидович* – докторант 2 курса ОП «Генетика и селекция сельскохозяйственных культур», НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Женис 62; тел.: 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

*Савин Тимур Владимирович – кандидат биологических наук, председатель правления, ТОО «НПЦЗХ им.А.И.Бараева», Республика Казахстан, 021601, Научный, ул. Александра Бараева 15, тел.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.*

*Зотова Людмила Петровна – PhD, старший преподаватель кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Женис 62, тел.: 87011278698, e-mail: lupezo_83@mail.ru.*

*Дюсибаева Элмира Наврусбековна – PhD, ассоциированный профессор кафедры земледелия и растениеводства, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С.Сейфуллина», Республика Казахстан, 010000, Астана, ул. Женис 62, тел.: 87076358233, e-mail: elmira_dyusibaeva@mail.ru.*

*Абдуллоев Фируз Махмадсаидұлы* – "Ауыл шаруашылығы дақылдарының генетикасы және селекциясы" 2 курс докторанты, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» ҚеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000 Астана қ, Жеңіс көш 62; тел. 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

*Савин Тимур Владимирович – биология ғылымдарының кандидаты, А.И.Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы» ЖШС басқарма төрағасы, Қазақстан Республикасы, 021601 Научный, Александр Бараев көш 15; тел. 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.*

*Зотова Людмила Петровна – PhD, "егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының аға оқытушысы, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» ҚеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000 Астана қ, Жеңіс көш 62; тел. 87011278698, e-mail: lupezo_83@mail.ru.*

*Дюсибаева Элмира Наврусбековна – PhD, "егіншілік және өсімдік шаруашылығы" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» ҚеАҚ, Қазақстан Республикасы, 010000 Астана қ, Жеңіс көш 62; тел. 87076358233, e-mail: elmira_dyusibaeva@mail.ru.*

*Abdulloyev Firuz Makhmadsaidovich* – 2nd year PhD student, "Genetics and crop breeding" educational program, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87077897810, e-mail: firuztj09@inbox.ru.*

*Savin Timur Vladimirovich– Candidate of Biological Sciences, Chairman of the Management Board of A.I.Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Republic of Kazakhstan, 021601, Nauchnyi, 15 Alexandr Baraev Str., tel.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.*

*Zotova Lyudmila Petrovna– PhD, Senior Lecturer of the Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000 Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87011278698, e-mail: lupezo_83@mail.ru.*

*Dyussibayeva Elmira Navrusbekovna – PhD, Associate Professor of the Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87076358233, e-mail: elmira_dyusibaeva@mail.ru.*

МРНТИ: 68.39.49
УДК 636.1.082
https://doi.org/10.52269/KGTD2531118

## СОЗДАНИЕ ИРТЫШСКОГО ЗАВОДСКОГО ТИПА И ЛИНИЙ МУГАЛЖАРСКОЙ ПОРОДЫ ЛОШАДЕЙ, А ТАКЖЕ ИХ МЯСНАЯ И МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ

*Акимбеков А.Р. – доктор сельскохозяйственных наук, НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», г. Уральск, Республика Казахстан.*

*Ускенов Р.Б. – кандидат сельскохозяйственных наук, ассоц. профессор, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», г.Астана, Республика Казахстан.*

*Исхан К.Ж.* – кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физиологии, морфологии и биохимии животных, НАО «Казахский национальный аграрно-исследовательский университет», г.Алматы, Республика Казахстан.*

*Орыналиев К.А. – PhD докторант, НАО «Казахский национальный аграрно-исследовательский университет», г. Алматы, Республика Казахстан.*