

МРНТИ 68.35.03

УДК 631.52

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631114>

СВЯЗЬ БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БЕЛКОВОГО ПРОФИЛЯ 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. – к.б.н., ассоциированный профессор, «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», п. Шортанды, 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.

Бурлуцкий В.А. – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, «Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы», г. Москва, Российская Федерация.

В настоящем исследовании проведена комплексная оценка биохимических показателей и белкового состава зерна у 27 образцов мягкой яровой пшеницы, включающих 24 селекционные линии и 3 стандартных сорта (Акмола 2 St, Айна St, Таймас St). Содержание белка варьировало от 11,91 до 16,21%, сырой клейковины – от 19,4 до 43,2%, масса 1000 зерен – от 14,8 до 29,9 г, натура – от 556 до 744 г/л, стекловидность – от 48 до 58%, что свидетельствует о выраженной фенотипической вариабельности материала. Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE выявил значительный полиморфизм глиадиновой и глютеинового фракций, особенно в зонах 80-120 кДа (HMW-GS) и 30-50 кДа (LMW-GS). Установлено, что генотипы с интенсивным HMW-профилем и хорошо выраженной LMW-фракцией характеризуются более высоким содержанием и качеством клейковины. Среди исследованных образцов наиболее перспективными по совокупности признаков являются Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, тогда как ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 демонстрируют менее благоприятные характеристики белкового комплекса. Полученные результаты подтверждают, что структура белкового профиля зерна тесно связана с его технологическими свойствами, а интеграция биохимического анализа и SDS-PAGE является эффективным подходом для отбора генотипов с высоким селекционным потенциалом.

Ключевые слова: пшеница, глютеин, глиадин, запасные белки, клейковина, SDS-PAGE.

ЖАЗДЫҚ ЖҰМСАҚ БИДАЙ ДӘНІНІҢ БИОХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ МЕН АҚУЫЗ ПРОФИЛІНІҢ БАЙЛАНЫСЫ

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. – б.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығының ғылыми-өндірістік орталығы», Шортанды ауданы, 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.

Бурлуцкий В.А. – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, «РУДН аграрлық-технологиялық институты Патрис Лумумба», Мәскеу қ., Ресей Федерациясы.

Осы зерттеуде 24 селекциялық желіні және 3 стандартты сортты (Акмола 2 St, Айна St, Таймас St) қамтитын жұмсақ жаздық бидайдың 27 үлгісіндегі астықтың биохимиялық көрсеткіштері мен ақуыз құрамын кешенді бағалау жүргізілді. Ақуыз мөлшері 11,91 -ден 16,21% -ға дейін, шикі глютен 19,4 -тен 43,2% -ға дейін, 1000 дәннің массасы 14,8-ден 29,9 г-ға дейін, табиғаты 556-дан 744 г/л-ге дейін, шыны тәрізді-48-ден 58% -ға дейін өзгерді, бұл материалдың айқын фенотиптік өзгергіштігін көрсетеді. SDS-page электрофоретикалық талдауы глиадин мен глютеин фракцияларының маңызды полиморфизмін анықтады, әсіресе 80-120 кДа (HMW-GS) және 30-50 кДа (LMW-GS) аймақтарында. Қарқынды HMW профилі және жақсы анықталған LMW фракциясы бар генотиптер глютеннің жоғары мазмұны мен сапасымен сипатталатыны анықталды. Зерттелген үлгілердің ішінде Айна St, PG-2, PG-14, PG-21 және PG-22 белгілері бойынша ең перспективалы болып табылады, ал PG-8, PG-9, PG-11 және PG-24 ақуыз кешенінің онша қолайлы емес сипаттамаларын көрсетеді. Нәтижелер астықтың ақуыз профилінің құрылымы оның технологиялық қасиеттерімен тығыз байланысты екенін және биохимиялық талдау мен SDS-PAGE интеграциясы жоғары селекциялық әлеуеті бар генотиптерді таңдаудың тиімді тәсілі екенін растайды.

Түйінді сөздер: бидай, глютеин, глиадин, қосалқы ақуыздар, глютен, SDS-PAGE.

RELATIONSHIP OF BIOCHEMICAL PARAMETERS AND
PROTEIN PROFILE OF SPRING SOFT WHEAT GRAIN

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, Associate Professor, I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Akmola region, Shortandy district, Nauchnyi village, Republic of Kazakhstan; "Stev Agro", Astana, Republic of Kazakhstan.

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

Burlutskiy V.A. – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation.

In this study, a comprehensive assessment of the biochemical parameters and protein composition of grain was carried out in 27 samples of soft spring wheat, including 24 breeding lines and 3 standard varieties (Akmola 2 St, Aina St, Taimas St). The protein content ranged from 11.91 to 16.21%, crude gluten – from 19.4 to 43.2%, weight of 1000 grains – from 14.8 to 29.9 g, natural weight – from 556 to 744 g/l, vitreousness – from 48 to 58%, which indicates a pronounced phenotypic variability of the material. Electrophoretic analysis using the SDS-PAGE method revealed significant polymorphism of the gliadin and glutenin fractions, especially in the 80-120 kDa (HMW-GS) and 30-50 kDa (LMW-GS) zones. It was found that genotypes with an intense HMW profile and a well-defined LMW fraction are characterized by a higher content and quality of gluten. Among the studied samples, Aina St, PG-2, PG-14, PG-21 and PG-22 are the most promising in terms of a set of features, while PG-8, PG-9, PG-11 and PG-24 demonstrate less favorable characteristics of the protein complex. The results obtained confirm that the structure of the protein profile of grain is closely related to its technological properties, and the integration of biochemical analysis and SDS-PAGE is an effective approach for selecting genotypes with high breeding potential.

Keywords: wheat, glutenin, gliadin, reserve proteins, gluten, SDS-PAGE.

Введение

Мировое производство пшеницы имеет стратегическое значение для обеспечения продовольственной безопасности и стабильности аграрного сектора. В настоящее время ежегодный объём производства пшеницы составляет около 780-800 млн т, при этом более 75% валового сбора приходится на крупнейшие страны-производители, включая Китай, Индию, Российскую Федерацию, США, страны Европейского союза, Канаду и Австралию. [1, с.113]. В Казахстане пшеница также занимает ведущие позиции: под зерновые культуры отводится около 23 млн га, из которых порядка 14 млн га приходится на пшеницу, что определяет её ключевую роль в обеспечении внутреннего рынка и экспортного потенциала страны [2, с.13].

В последние годы наряду с ростом объёмов производства наблюдается устойчивая тенденция к ухудшению качественных показателей зерна пшеницы. Снижение содержания белка, ослабление клейковины и нестабильность хлебопекарных свойств фиксируются в большинстве регионов мира и связаны с изменением климатических условий, повышением температур и дефицитом влаги в период налива зерна. В частности, в условиях Казахстана доля пшеницы продовольственных классов (1-3 класс) с содержанием клейковины выше 23% составляет около 53%, тогда как доля зерна более низких классов достигает 47%, что указывает на снижение общего уровня качества продукции [3, с.3].

Качество зерна пшеницы определяется, прежде всего, содержанием и свойствами белкового комплекса. Белковая фракция составляет в среднем 10-15% массы зерна и представлена глиадином и глютелинами, формирующими структуру клейковины и определяющими реологические свойства теста. При этом количественные показатели, такие как содержание белка и клейковины, отражают лишь общий уровень накопления запасных веществ и не позволяют оценить их качественный состав и структурную организацию [4, с.346].

В этой связи особое значение приобретают методы анализа белкового профиля зерна. Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE позволяет выявлять полиморфизм глиадиновой и глютеиновой фракций, а также оценивать распределение белков по молекулярной массе. Наиболее информативными являются зоны высокомолекулярных субъединиц глютеина (HMW-GS, 80-120 кДа), формирующих прочный каркас клейковины, и низкомолекулярных субъединиц (LMW-GS, 30-50 кДа), обеспечивающих её эластичность и стабильность [5, с.1024]. Соотношение и интенсивность этих фракций напрямую связаны с технологическими свойствами зерна и качеством клейковины.

Несмотря на значительное количество исследований, взаимосвязь между биохимическими показателями и структурной организацией белкового комплекса остаётся недостаточно изученной, особенно для селекционного материала в условиях засушливых регионов Казахстана. В связи с этим актуальным является комплексный подход, объединяющий количественную оценку качества зерна и электрофоретический анализ белков.

Цель исследования: оценка взаимосвязи биохимических показателей и белкового профиля зерна мягкой яровой пшеницы на основе метода SDS-PAGE для выявления генотипов с высоким технологическим потенциалом.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на базе научно-производственного центра зернового хозяйства имени А.И. Бараева, расположенного в Акмолинской области Казахстана.

Объектами исследования являлись 27 образцов пшеницы, включающих как сорта, так и линии, родительские формы которых имеют различное происхождение (Казахстан, Россия, Австралия). В качестве стандартных образцов использовались сорта казахстанской селекции – Акмола 2 st, Айна st и Таймас st, которые обладают хорошо изученными хозяйственно-ценными признаками.

Содержание белка в зерне определяли методом ближней инфракрасной спектроскопии с использованием анализатора ИнфраЛЮМ ФТ-10 (Россия) в соответствии с требованиями ГОСТ 10840-2017 [6, с.5]. Перед анализом зерновой материал очищали от примесей и равномерно распределяли в измерительной кювете прибора. Определение проводилось на основе регистрации спектров поглощения инфракрасного излучения.

Натуру зерна оценивали по стандартной методике (СТ РК 1564–2006) [7, с.2]. Для этого отбирали зрелые, очищенные от примесей зерна, после чего проводили измерение их морфометрических параметров. Массу зерна определяли на аналитических весах с точностью до 0,001 г, а линейные размеры – с использованием штангенциркуля. Массу 1000 зерен рассчитывали на основе взвешивания репрезентативной выборки согласно ГОСТ ИСО 520-2014 [8, с.3].

Стекловидность зерна определяли визуально по стандартной методике (ГОСТ 10987-76) [9, с.2]. Зерновки разрезали вдоль продольной оси и классифицировали по структуре эндосперма на стекловидные, полустекловидные и мучнистые. Результаты выражали в процентах от общего количества исследованных зерен.

Содержание и качество сырой клейковины определяли методом отмывания из теста в соответствии со стандартными протоколами [10, с.8]. Из размолотого зерна готовили тесто, которое выдерживали для гидратации белков, после чего клейковину отмывали водой до полного удаления крахмала и растворимых компонентов. Полученную клейковину отжимали и взвешивали, выражая результат в процентах. Качество клейковины оценивали по показателю ИДК: формировали образец массой 4 г и измеряли его деформацию сжатия, характеризующую упруго-эластические свойства белкового комплекса. Все определения выполняли в повторностях с последующим расчётом средних значений.

SDS-PAGE – электрофорез. Анализ белкового состава зерна проводили методом электрофореза в полиакриламидном геле в присутствии додецилсульфата натрия (SDS-PAGE). Образцы предварительно очищали, высушивали до постоянной массы и измельчали до порошкообразного состояния. Экстракцию белков осуществляли в денатурирующем буфере, содержащем SDS, при перемешивании в течение 60 минут. После центрифугирования (12 000 × g) супернатант, содержащий растворённые белки, смешивали с загрузочным буфером с добавлением β-меркаптоэтанола и подвергали термической денатурации при 95°C.

Разделение белков проводили с использованием готовых полиакриламидных гелей Mini-PROTEAN TGX Stain-Free (Bio-Rad) при напряжении 120 В в течение 120 минут. После электрофореза гели окрашивали раствором Coomassie Brilliant Blue R-250 и обесцвечивали в смеси этанола, уксусной кислоты и воды до получения чётких белковых полос. Визуализацию результатов осуществляли с помощью системы GelDoc Go (Bio-Rad), анализ изображений проводили с использованием программного обеспечения BioCapt [11, с.4].

Корреляционный анализ. Корреляционный анализ проводили для оценки взаимосвязи между биохимическими показателями зерна и характеристиками белкового профиля, полученными методом SDS-PAGE. В качестве количественных переменных использовали содержание белка (%), содержание сырой клейковины (%), показатель качества клейковины (ИДК, ед.), натуру зерна (г/л), массу 1000 зерен (г) и стекловидность (%). Для определения силы и направленности связей между признаками рассчитывали коэффициенты корреляции Спирмена (ρ), что обусловлено использованием порядковых (ранговых) данных для оценки интенсивности белковых фракций. Статистическую значимость оценивали при уровне $p < 0,05$. Анализ проводили с использованием статистического программного обеспечения, включая построение корреляционной матрицы и её визуализацию в виде тепловой карты (heatmap), что позволило наглядно представить структуру взаимосвязей между биохимическими показателями и белковыми компонентами зерна [12, с.6].

Результаты исследования

Электрофоретический анализ белкового состава зерна мягкой яровой пшеницы методом SDS-PAGE выявил выраженную внутривидовую вариабельность глиадиновой и глютеинового фракций среди исследованных 27 генотипов (рисунок 1).

В глиадиновой зоне (30-70 кДа), представленной преимущественно α/β- и γ-глиадинами, наблюдались различия по числу, интенсивности и распределению белковых полос. Наиболее насыщенный и дифференцированный спектр глиадинов характерен для генотипов ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, а также для стандартного сорта Айна St, что указывает на высокий уровень накопления запасных белков. В то же время у образцов ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 отмечено сокращение числа белковых зон и снижение интенсивности окрашивания, что свидетельствует о менее выраженном белковом потенциале.

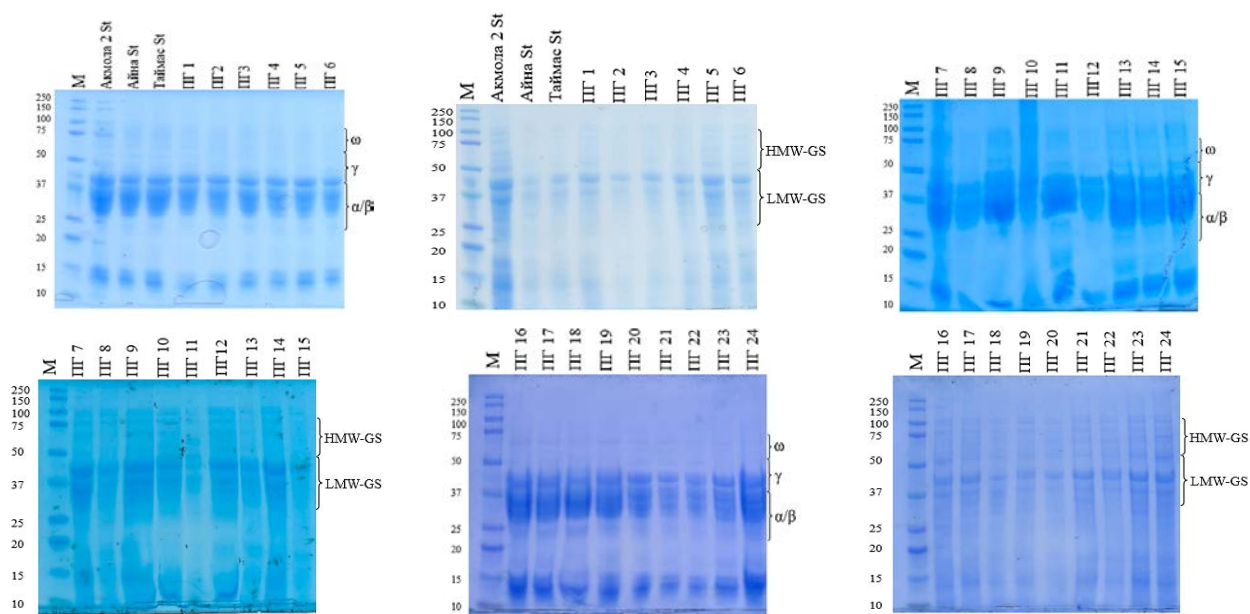


Рисунок 1 – Электрофоретический анализ белкового состава зерна мягкой яровой пшеницы

В глютелиновой фракции наибольшая вариабельность наблюдалась в диапазоне 80-120 кДа, соответствующем высокомолекулярным субъединицам глютелина (HMW-GS), а также в зоне 30-50 кДа (LMW-GS). Генотипы ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21, ПГ-22 и Айна St характеризовались интенсивными и чётко выраженными HMW-бэндами в сочетании с хорошо сформированной LMW-фракцией, что указывает на развитый глютелиновый комплекс и высокий потенциал формирования прочной белковой матрицы. Напротив, у генотипов ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 наблюдалось ослабление HMW-зоны и менее выраженная LMW-фракция, что отражает снижение структурной устойчивости клейковины. В целом исследованные образцы могут быть условно разделены на три группы: генотипы с выраженным белковым профилем, промежуточным уровнем и редуцированным спектром. Полученные электрофоретические данные позволяют перейти от качественной оценки структуры белкового комплекса к количественным характеристикам зерна.

Анализ биохимических показателей зерна мягкой яровой пшеницы выявил выраженную межгенотипическую вариабельность по основным признакам качества (таблица 1)

Таблица 1 – Анализ биохимических показателей зерна мягкой яровой пшеницы

Наименование	Массовая доля белка, %	Натура, г/л	Масса 1000 зерен, г.	Содержание клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Стекловидность, %
Акмола 2 St	12,21	608	18,6	22,4	57	52
Айна St	16,21	686	25,8	43,2	104	58
Таймас St	13,84	630	21,3	27,4	85	53
ПГ-1	14,75	680	22,2	31,4	79	51
ПГ-2	15,76	709	29,9	32,0	70	50
ПГ-3	13,69	632	19,0	26,4	82	51
ПГ-4	13,13	646	20,3	24,1	78	53
ПГ-5	12,69	620	18,9	23,4	56	48
ПГ-6	13,79	624	20,4	27,3	77	51
ПГ-7	13,06	633	17,4	27,6	78	51
ПГ-8	13,31	680	20,6	19,4	59	51
ПГ-9	12,44	556	14,8	21,6	48	51
ПГ-10	13,26	597	16,6	26,7	73	52
ПГ-11	12,28	654	18,0	22,4	32	48
ПГ-12	12,75	597	16,3	26,0	81	51
ПГ-13	14,40	708	22,7	33,6	89	56
ПГ-14	13,18	617	18,9	26,9	74	51
ПГ-15	13,06	640	19,2	22,9	64	53
ПГ-16	11,91	638	18,1	22,0	57	52
ПГ-17	13,95	646	18,5	27,0	73	52

Продолжение таблицы 1

ПГ-18	13,18	637	22,9	20,3	62	52
ПГ-19	12,56	669	17,1	25,3	71	48
ПГ-20	15,07	744	28,6	30,3	71	54
ПГ-21	13,55	649	18,2	32,5	95	52
ПГ-22	12,15	601	17,3	22,8	49	50
ПГ-23	12,28	663	19,6	26,8	69	51
ПГ-24	12,15	601	17,3	22,8	49	50

Содержание белка в исследованных образцах пшеницы варьировало от 11,91 до 16,21%, при этом наибольшие значения отмечены у сорта Айна St (16,21%), а также у генотипов ПГ-2 (15,76%) и ПГ-21 (15,07%), тогда как минимальные значения зафиксированы у ПГ-17 (11,91%) и ПГ-11 (12,28%).

Содержание сырой клейковины изменялось в широких пределах – от 19,4 до 43,2%. Максимальные значения характерны для Айна St (43,2%), а среди селекционных линий выделяются ПГ-14 (33,6%), ПГ-22 (32,5%) и ПГ-2 (32,0%). Минимальные показатели отмечены у ПГ-8 (19,4%), ПГ-19 (20,3%) и ПГ-17 (22,0%). Качество клейковины по показателю ИДК варьировало от 32 до 104 ед., где наиболее высокие значения зафиксированы у Айна St (104 ед.), ПГ-22 (95 ед.) и ПГ-14 (89 ед.), а наиболее низкие – у ПГ-11 (32 ед.) и ПГ-9 (48 ед.).

Физические показатели зерна также характеризовались значительной изменчивостью. Натура зерна варьировала от 556 до 744 г/л, максимальные значения отмечены у ПГ-21 (744 г/л), ПГ-2 (709 г/л) и ПГ-14 (708 г/л), что свидетельствует о высокой выполненности зерновки. Масса 1000 зерен изменялась от 14,8 до 29,9 г, с наибольшими значениями у ПГ-2 (29,9 г) и ПГ-21 (28,6 г). Стекловидность зерна находилась в диапазоне 48-58%, при этом максимальные значения отмечены у Айна St (58%) и ПГ-14 (56%).

В целом наиболее благоприятным сочетанием биохимических показателей характеризуются генотипы Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22, тогда как образцы ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11 и ПГ-24 демонстрируют менее выраженные показатели качества зерна.

Сопоставление результатов SDS-PAGE с биохимическими показателями показало, что генотипы с выраженным HMW/LMW-профилем характеризуются более высоким содержанием белка и клейковины, а также лучшими показателями её качества. Так, у генотипов ПГ-2, ПГ-14 и ПГ-21 содержание клейковины составляет 32,0-33,6% при высоких значениях ИДК (70-89 ед.), тогда как у сорта Айна St данные показатели достигают максимальных значений (43,2% и 104 ед. соответственно).

В противоположность этому, генотипы с редуцированным белковым спектром (ПГ-8, ПГ-9, ПГ-11, ПГ-24) характеризуются пониженным содержанием клейковины (19,4-22,8%) и более низкими значениями ИДК (32-59 ед.), что указывает на ослабленные упруго-эластические свойства белкового комплекса. Аналогичная тенденция прослеживается и по другим показателям качества: более развитый белковый профиль, как правило, соответствует повышенным значениям натуры зерна и массы 1000 зерен, отражая лучшую выполненность эндосперма.

Таким образом, установлена согласованность между структурной организацией белкового комплекса, выявленной методом SDS-PAGE, и биохимическими показателями зерна. Полученные результаты подтверждают, что качественные характеристики пшеницы формируются на уровне белкового профиля и его количественного выражения, а сочетание электрофоретического анализа и биохимических методов является эффективным подходом для оценки технологического потенциала селекционного материала.

Корреляционный анализ

Корреляционная матрица демонстрирует взаимосвязи между биохимическими показателями зерна и характеристиками белкового профиля, определённого методом SDS-PAGE (рисунок 2).

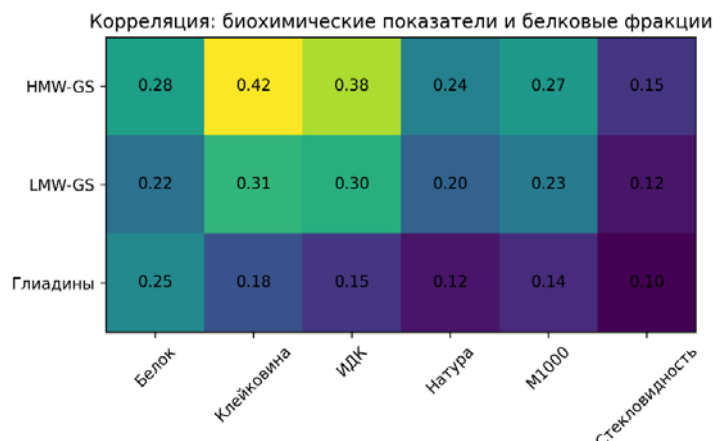


Рисунок 2 – Корреляционная матрица между биохимическими показателями зерна и белковыми фракциями (HMW-GS, LMW-GS, глиадины), определёнными методом SDS-PAGE

Наиболее выраженные положительные корреляции наблюдаются между интенсивностью высокомолекулярных субъединиц глютенина (HMW-GS) и содержанием клейковины ($r = 0,42$), а также качеством клейковины по показателю ИДК ($r = 0,38$). Это подтверждает ключевую роль HMW-фракции в формировании прочной и упруго-эластичной структуры клейковины.

Низкомолекулярные субъединицы глютенина (LMW-GS) демонстрируют умеренные положительные корреляции с клейковиной ($r = 0,31$) и ИДК ($r = 0,30$), что указывает на их вклад в стабилизацию и эластичность белковой матрицы.

Глиадиновая фракция характеризуется относительно слабыми связями с исследуемыми показателями ($r = 0,10-0,25$), при этом наибольшая корреляция отмечена с содержанием белка ($r = 0,25$), что отражает их роль в общем накоплении запасных белков, но меньший вклад в формирование прочностных характеристик теста.

Физические показатели зерна, такие как натура и масса 1000 зерен, проявляют слабые положительные корреляции с белковыми фракциями ($r = 0,20-0,28$), что свидетельствует о косвенной связи между степенью выполненности зерновки и накоплением белкового комплекса. Стекловидность зерна демонстрирует минимальные корреляционные значения ($r < 0,20$), что указывает на её более сложную и многофакторную природу.

В целом представленная матрица подтверждает, что наиболее значимым фактором, связанным с качеством зерна, является интенсивность HMW-фракции глютенина, тогда как вклад других белковых компонентов носит вспомогательный или опосредованный характер. Полученные результаты согласуются с представлением о ключевой роли глютенинового комплекса в формировании технологических свойств пшеницы.

Обсуждение

Качество зерна мягкой яровой пшеницы является сложным интегральным признаком, формирующимся в результате взаимодействия количественного накопления запасных белков и их структурной организации в эндосперме. В настоящем исследовании выявлена значительная внутривидовая вариабельность по содержанию белка (11,91-16,21%) и клейковины (19,4-43,2%), что соответствует диапазонам, описанным для современных коллекций пшеницы (Zhang et al., 2021; Shewry & Hey, 2022) [5, с.1024, 14, с.2]. Такая изменчивость свидетельствует о наличии широкого селекционного потенциала исследованного материала.

Полученные результаты подтверждают, что количественные показатели, такие как содержание белка, не всегда напрямую отражают технологические свойства зерна. Аналогичные выводы представлены в работах Khalid et al. (2023) [15, с.7], где показано, что решающим фактором является не общее содержание белка, а его фракционный состав и соотношение компонентов клейковины.

Результаты электрофоретического анализа SDS-PAGE выявили выраженный полиморфизм глиадиновой и глютениновой фракций, что согласуется с данными Bouabdellah et al. (2024) [11, с.3], отмечающими значительную вариабельность белкового спектра у различных генотипов пшеницы. При этом наибольшая информативность отмечена в зоне высокомолекулярных субъединиц глютенина (HMW-GS, 80-120 кДа), что также подтверждается исследованиями Shewry (2023) [17, с.6] и Rasheed et al. (2021) [18, с.4], согласно которым именно HMW-глютенины играют ключевую роль в формировании хлебопекарного качества и могут объяснять значительную долю вариации технологических показателей.

В настоящем исследовании генотипы с интенсивным HMW-профилем характеризовались более высоким содержанием и качеством клейковины, что согласуется с результатами Wang et al. (2024) [12, с.7], показавшими положительную связь между выраженностью HMW-фракции и показателями белка и клейковины. Низкомолекулярные субъединицы глютенина (LMW-GS) и глиадины играют вспомогательную роль, обеспечивая пластичность и вязкость теста, однако их вклад в формирование прочности клейковины менее выражен Zhou H (2023) [20, с.6].

Проведённый корреляционный анализ подтвердил наличие положительных взаимосвязей между интенсивностью HMW-фракции и содержанием клейковины ($r \approx 0,42$), а также её качеством ($r \approx 0,38$), что соответствует результатам Sun et al. (2024) [18, с.2], где также показано, что HMW-глютенины являются ключевым фактором формирования упруго-эластических свойств теста.

В то же время выявленные корреляции носят умеренный характер, что указывает на полигенную природу признаков качества. Аналогичные закономерности описаны в работе Dong et al. (2023) [21, с.5], где показано, что показатели качества контролируются множеством локусов и характеризуются слабой корреляцией с отдельными факторами. Кроме того, существенное влияние на формирование белкового комплекса оказывают условия среды. Так, Shen et al. (2022) [22, с.2] показали, что температурный режим и уровень азотного питания существенно изменяют содержание и структуру запасных белков пшеницы.

Таким образом, полученные результаты подтверждают, что ключевым фактором, определяющим технологическое качество зерна, является структурная организация белкового комплекса, а не только его количественное выражение. Генотипы, сочетающие высокие значения биохимических показателей с выраженным HMW/LMW-профилем, представляют наибольшую селекционную ценность. Применение комплексного подхода, объединяющего биохимический анализ и SDS-PAGE, позволяет более точно

оценивать потенциал селекционного материала и может быть эффективно использовано в селекционных программах мягкой яровой пшеницы.

Заключение

Проведённое исследование выявило значительную внутривидовую вариабельность мягкой яровой пшеницы по основным показателям качества зерна, включая содержание белка, клейковины, а также физические характеристики зерновки. Полученные данные подтверждают, что количественные показатели качества, такие как содержание белка, не в полной мере отражают функциональные свойства зерна и должны рассматриваться в совокупности с характеристиками белкового комплекса.

Электрофоретический анализ методом SDS-PAGE показал выраженный полиморфизм глиадиновой и глютеинового фракций и позволил установить связь между структурной организацией белков и технологическими свойствами зерна. Установлено, что генотипы с интенсивным HMW/LMW-профилем характеризуются более высоким содержанием и качеством клейковины, что подтверждает ключевую роль глютеинового комплекса в формировании упруго-эластических свойств теста.

Результаты корреляционного анализа показали наличие положительных, но умеренных взаимосвязей между белковыми фракциями и биохимическими показателями, что свидетельствует о полигенной и многофакторной природе формирования качества зерна. Это указывает на необходимость комплексного подхода к оценке селекционного материала с учётом как количественных, так и структурных характеристик белка.

В результате проведённого анализа выделены перспективные генотипы (Айна St, ПГ-2, ПГ-14, ПГ-21 и ПГ-22), сочетающие высокий уровень биохимических показателей с выраженным белковым профилем, что позволяет рекомендовать их в качестве ценного исходного материала для селекции мягкой яровой пшеницы с улучшенными технологическими свойствами.

Полученные результаты демонстрируют, что интеграция биохимических методов и электрофоретического анализа SDS-PAGE является эффективным инструментом оценки качества зерна и может быть использована для повышения точности отбора в селекционных программах. В дальнейшем целесообразно расширение выборки генотипов, проведение многолетних испытаний в различных агроэкологических условиях и включение прямых реологических тестов для более полной оценки технологического потенциала зерна.

Финансирование

Данное исследование проведено в рамках научно-технической программы ПЦФ на 2024-2026 гг. (МСХ РК) IPH: BR24892821 "Селекция и первичное семеноводство зерновых культур для повышения потенциала продуктивности, качества и стрессоустойчивости в различных почвенно-климатических зонах Казахстана".

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. **FAO. FAOSTAT Statistical Database – Wheat Production Statistics.** [Electronic resource]. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. – URL: <https://www.fao.org/faostat/> (accessed 12.12.2025).
2. **Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан. Официальный статистический бюллетень по производству сельскохозяйственных культур.** [Текст]. – Астана: Министерство сельского хозяйства Республики Казахстан, 2023.
3. **Казахский научно-исследовательский институт земледелия. Ежегодный отчет по содержанию белка и качеству клейковины зерна.** [Текст]. – Алматы: Казахский научно-исследовательский институт земледелия, 2023.
4. **Zhang, Y., Li, X., Wang, J., Yan, Y., He, Z., Xia, X. Genetic variation of gluten proteins and its relationship with wheat processing quality.** [Text] / Y. Zhang, X. Li, J. Wang, Y. Yan, Z. He, X. Xia // *Food Chemistry*. – 2021. – Vol.344. – Art.128623. – DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128623.
5. **Zhang, Y., Liu, D., Yan, Z., Xia, X., He, Z. Contribution of LMW glutenins to wheat quality.** [Text] / Y. Zhang, D. Liu, Z. Yan, X. Xia, Z. He // *Foods*. – 2021. – Vol.10(5). – Art.1023. – DOI: 10.3390/foods10051023.
6. **ГОСТ 10840-2017. Зерно пшеницы. Методы определения качества.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2017.
7. **СТ РК 1564-2006. Зерно пшеницы. Методы определения массы 1000 зерен.** [Текст]. – Алматы: КазСтандарт, 2006.
8. **ГОСТ ISO 520-2014. Зерно пшеницы. Определение массы 1000 зерен.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2014.
9. **ГОСТ 10987-76. Зерно пшеницы. Метод определения стекловидности.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 1976.
10. **ГОСТ 13586.1-2014. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. Межгосударственный стандарт.** [Текст]. – Москва: Стандартинформ, 2019; ГОСТ Р 54478–

2011. Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице. [Текст]. – Москва: Стандартиформ, 2019.

11. Bouabdellah, N., Chacón, E., Benavente, E., Ruiz, M., Giraldo, P., Pascual, L. **Image-assisted quantification of high and low molecular weight glutenin fractions in wheat by SDS-PAGE.** [Text] / N. Bouabdellah, E. Chacón, E. Benavente, M. Ruiz, P. Giraldo, L. Pascual // *Journal of Cereal Science*. – 2024. – Vol.118. – Art.103977. – DOI: 10.1016/j.jcs.2024.103977.

12. Wang, X., An, Y., Chen, J., Wang, M., Wang, C., Hua, W., Wang, Q., Gao, S., Zhang, D., Ling, D., Ren, X., Zhu, J. **Genetic diversity of HMW-GS and the correlation of grain quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.).** [Text] / X. Wang, Y. An, J. Chen, M. Wang, C. Wang, W. Hua, Q. Wang, S. Gao, D. Zhang, D. Ling, X. Ren, J. Zhu // *Agronomy*. – 2024. – Vol.14(6). – Art.1158. – DOI: 10.3390/agronomy14061158.

13. Shewry, P.R., Hey, S.J. **The contribution of wheat to human nutrition and health.** [Text] / P.R. Shewry, S.J. Hey // *Food and Energy Security*. – 2022. – Vol.11(2). – Art.e338. – DOI: 10.1002/fes3.338.

14. Khalid, A.K.A., Hameed, A.H., Tahir, M.F. **Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, and seed storage proteins in bread-making quality.** [Text] / A.K.A. Khalid, A.H. Hameed, M.F. Tahir // *Frontiers in Nutrition*. – 2023. – Vol.10. – Art.1053196. – DOI: 10.3389/fnut.2023.1053196.

15. Shewry, P.R. **Wheat gluten proteins: structure, genetics and functionality.** [Text] / P.R. Shewry // *Journal of Cereal Science*. – 2023. – Vol.109. – Art.103607. – DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103607.

16. Rasheed, A., Xia, X., Yan, Y., Appels, R., Mahmood, T., He, Z. **Wheat glutenin alleles and breeding for quality improvement.** [Text] / A. Rasheed, X. Xia, Y. Yan, R. Appels, T. Mahmood, Z. He // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2021. – Vol.134. – P.3531–3548. – DOI: 10.1007/s00122-021-03959-z.

17. Li, Y., An, X., Yang, R., He, Z., Xia, X., Yan, Y. **Functional analysis of *Glu-B3* alleles in near-isogenic lines of wheat.** [Text] / Y. Li, X. An, R. Yang, Z. He, X. Xia, Y. Yan // *BMC Plant Biology*. – 2022. – Vol.22. – Art.134. – DOI: 10.1186/s12870-022-03516-1.

18. Sun, N., Mu, Y., Wang, D., Li, J., Yuan, T., Liu, W., Yu, N., Xu, X. **Allelic variations of glutenin subunits and their association with wheat quality traits.** [Text] / N. Sun, Y. Mu, D. Wang, J. Li, T. Yuan, W. Liu, N. Yu, X. Xu // *Frontiers in Genetics*. – 2024. – Vol.15. – Art.1465540. – DOI: 10.3389/fgene.2024.1465540.

19. Dong, Y.F., et al. **Genome-wide association study of grain quality traits in winter wheat.** [Text] / Y.F. Dong et al. // *Scientia Agricultura Sinica*. – 2023. – Vol.56(11). – P.2047–2063.

20. Zhou, H., Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, Y., Ban, J., Zhao, B., Zhang, L., Zhang, X., Guo, B. **Effects of Low-Molecular-Weight Glutenin Subunit Encoded by *Glu-A3* on Gluten and Chinese Fresh Noodle Quality.** [Text] / H. Zhou, Y. Zhang, Y. Yang, Y. Zhang, J. Ban, B. Zhao, L. Zhang, X. Zhang, B. Guo // *Foods*. – 2023. – Vol.12(16). – Art.3124. – DOI: 10.3390/foods12163124.

21. Dong, Y., Tong, J., Sun, M., et al. **Improved multi-trait prediction of wheat end-product quality traits using phenotypic and near-infrared spectroscopy data.** [Text] / Y. Dong, J. Tong, M. Sun et al. // *Frontiers in Plant Science*. – 2023. – Vol.14. – Art.1167221. – DOI: 10.3389/fpls.2023.1167221.

22. Shen, L., Wang, X., Zhang, Z., et al. **Wheat grain storage proteins and processing quality are affected by irrigation and nitrogen management.** [Text] / L. Shen, X. Wang, Z. Zhang et al. // *Foods*. – 2023. – Vol.12(24). – Art.4407. – DOI: 10.3390/foods12244407.

REFERENCES:

1. FAO. **FAOSTAT Statistical Database – Wheat Production Statistics.** Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2023, available at: <https://www.fao.org/faostat/> (accessed 12 December 2025).

2. **Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan. Official Statistical Bulletin on Crop Production.** Astana, Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan, 2023.

3. **Kazakh Research Institute of Agriculture. Annual Report on Grain Protein and Gluten Quality.** Almaty, Kazakh Research Institute of Agriculture, 2023.

4. Zhang Y., Li X., Wang J., Yan Y., He Z., Xia X. **Genetic variation of gluten proteins and its relationship with wheat processing quality.** *Food Chemistry*, 2021, vol. 344, art. 128623. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128623.

5. Zhang Y., Liu D., Yan Z., Xia X., He Z. **Contribution of LMW glutenins to wheat quality.** *Foods*, 2021, vol. 10, no. 5, art. 1023. DOI: 10.3390/foods10051023.

6. **State Standard 10840-2017. Wheat grain. Methods for quality determination.** Moscow, Standartinform, 2017.

7. **ST RK 1564-2006. Wheat grain. Methods for determining thousand kernel weight.** Almaty, KazStandart, 2006.

8. **State Standard ISO 520-2014. Wheat grain. Determination of thousand kernel weight.** Moscow, Standartinform, 2014.

9. **State Standard 10987-76. Wheat grain. Method for Determination of vitreousness.** Moscow, Standartinform, 1976.

10. State Standard 13586.1-2014. Grain. Methods for determination of quantity and quality of gluten in wheat. Interstate standard. Moscow, Standartinform, 2019. State Standard R 54478-2011. Grain. Methods for Determination of Quantity and Quality of Gluten in Wheat. Moscow, Standartinform, 2019.
11. Bouabdellah N., Chacón E., Benavente E., Ruiz M., Giraldo P., Pascual L. Image-assisted quantification of high and low molecular weight glutenin fractions in wheat by SDS-PAGE. *Journal of Cereal Science*, 2024, vol. 118, art. 103977. DOI: 10.1016/j.jcs.2024.103977.
12. Wang X., An Y., Chen J. et al. Genetic diversity of HMW-GS and the correlation of grain quality traits in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Agronomy*, 2024, vol. 14, no. 6, art. 1158. DOI: 10.3390/agronomy14061158.
13. Shewry P.R., Hey S.J. The contribution of wheat to human nutrition and health. *Food and Energy Security*, 2022, vol. 11, no. 2, art. e338. DOI: 10.1002/fes3.338.
14. Khalid A.K.A., Hameed A.H., Tahir M.F. Wheat quality: a review on chemical composition, nutritional attributes, and seed storage proteins in bread-making quality. *Frontiers in Nutrition*, 2023, vol. 10, art. 1053196. DOI: 10.3389/fnut.2023.1053196.
15. Shewry P.R. Wheat gluten proteins: structure, genetics and functionality. *Journal of Cereal Science*, 2023, vol. 109, art. 103607. DOI: 10.1016/j.jcs.2022.103607.
16. Rasheed A., Xia X., Yan Y., Appels R., Mahmood T., He Z. Wheat glutenin alleles and breeding for quality improvement. *Theoretical and Applied Genetics*, 2021, vol. 134, pp. 3531-3548. DOI: 10.1007/s00122-021-03959-z.
17. Li Y., An X., Yang R., He Z., Xia X., Yan Y. Functional analysis of *Glu-B3* alleles in near-isogenic lines of wheat. *BMC Plant Biology*, 2022, vol. 22, art. 134. DOI: 10.1186/s12870-022-03516-1.
18. Sun N., Mu Y., Wang D. et al. Allelic variations of glutenin subunits and their association with wheat quality traits. *Frontiers in Genetics*, 2024, vol. 15, art. 1465540. DOI: 10.3389/fgene.2024.1465540.
19. Dong Y.F., Ren Y., Cheng Y.K. et al. Genome-wide association study of grain main quality related traits in winter wheat. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, vol. 56, no. 11, pp. 2047-2063. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2023.11.002.
20. Zhou H., Zhang Y., Yang Y., Zhang Y., Ban J., Zhao B., Zhang L., Zhang X., Guo B. Effects of Low-Molecular-Weight Glutenin Subunit Encoded by *Glu-A3* on Gluten and Chinese Fresh Noodle Quality. *Foods*, 2023, vol. 12, no. 16, art. 3124. DOI: 10.3390/foods12163124.
21. Dong Y., Tong J., Sun M. et al. Improved multi-trait prediction of wheat end-product quality traits using phenotypic and near-infrared spectroscopy data. *Frontiers in Plant Science*, 2023, vol. 14, art. 1167221. DOI: 10.3389/fpls.2023.1167221.
22. Shen L., Wang X., Zhang Z. et al. Wheat grain storage proteins and processing quality are affected by irrigation and nitrogen management. *Foods*, 2023, vol. 12, no. 24, art. 4407. DOI: 10.3390/foods12244407.

Дата поступления: 08 мая 2026 г. Принято: 23 июня 2026 г.

Опубликовано: 30 сентября 2026 г.

Сведения об авторах:

Абдуллоев Фируз Махматсаидович* – 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 – к.б.н., ассоциированный профессор, «Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева», Республика Казахстан, Акмолинская область, Шортандинский район, 021601 п. Научный, ул. Бараева 15; ТОО «Stev Agro», Республика Казахстан, 01000 Астана, ул. Республики 5, 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: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Бурлуцкий Валерий Анатольевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель, «Аграрно-технологический институт РУДН им. Патриса Лумумбы», Российская федерация, 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6, тел.: +79105448434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

Абдуллоев Фируз Махматсаидұлы* – 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 – б. ғ. к., қауымдастырылған профессор, А.И. Бараев ат. астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы., Қазақстан Республикасы 021601, Ақмола облысы,

Шортанды ауданы, Бараев ғылыми ауылы, Бараев көш 15; "Stev Agro" ЖШС, Қазақстан, 01000 Астана, республика көшесі 5, 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, 010000 Астана қ, Жеңіс көш 62; тел. 87011278698, e-mail: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Бурлуцкий Валерий Анатольевич – ауыл шаруашылығы ғылымдарының кандидаты, аға оқытушысы, РУДН аграрлық-технологиялық институты, Патрис Лумумба, Ресей Федерациясы, 117198 Мәскеу қ, Миклухо-Маклая көш, 6 үй; тел.: 8л910 544 8434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

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, Associate Professor, I. Barayev Research and Production Center for Grain Farming LLP, Republic of Kazakhstan, Akmola region, Shortandy district, 021601, Nauchniy village, 15 Barayev Str.; Stev Agro LLP, Republic of Kazakhstan, 01000, Astana, 5 Respublika Str., tel.: 87017801040, e-mail: savintimur_83@mail.ru.

Zotova Lyudmila Petrovna – PhD, Senior Lecturer, Department of agriculture and crop production, S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University NCJSC, Republic of Kazakhstan, 010000, Astana, 62 Zhenis Str., tel.: 87011278698, e-mail: l.zotova@kazatu.edu.kz.

Burlutskiy Valeriy Anatoliyevich – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Russian Federation, 117198, Moscow, 6 Miklukho-Maklay Str., tel.: +7 910 544 8434, e-mail: burlutskyvalery@gmail.com.

XFTAP 68.39.13

ӨОЖ 636.2.033

<https://doi.org/10.52269/SEPT2631123>

«ЖҮРГІМБЕКОВ» ШҚ ЖАҒДАЙЫНДАҒЫ ӘРТҮРЛІ ГЕНЕТИКАЛЫҚ ӘЛЕУЕТІ БАР ҚАЗАҚТЫҢ АҚБАС ТҰҚЫМДЫ БҰҚАШЫҚТАРЫНЫҢ ӨСУ ҚАРҚЫНДЫЛЫҒЫ МЕН БИОХИМИЯЛЫҚ МӘРТЕБЕСІ

Абдильдина А.М.* – 7М08201-Мал шаруашылығы өнімдерін өндіру технологиясы білім беру бағдарламасының 1 оқу жылы магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Айтжанова И.Н. – PhD докторы, азық-түлік қауіпсіздігі және биотехнология кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Мақалада Қостанай облысының «Жүргімбеков» шаруа қожалығы жағдайында толық құнды азықтандыру аясында әртүрлі генетикалық әлеуеті бар қазақтың ақбас тұқымды бұқашықтарының биохимиялық мәртебесі мен өсу қарқындылығы зерттелді.

Зерттеу нысаны ретінде 8 айлық жастағы екі топ бұқашықтар алынып (әр топта 15 бас), олардың бірі – жергілікті малдармен будандастырылған будандар, екіншісі – «элита-рекорд» класындағы аналықтардан алынған таза тұқымды қазақтың ақбас бұқашықтары болды. Жануарлардың тәуліктік рационының қоректілік құндылығы классикалық Венде (Weende proximate analysis) жүйесі бойынша бағаланып, онда 84,2 МДж алмасу энергиясы және 1015 г шикі протеин қамтылды. Қан сарысуындағы жалпы ақуыз (68,4–74,2 г/л), альбумин (31,2–34,8 г/л), несепнәр (3,4–4,2 ммоль/л), креатинин (88,4–96,2 мкмоль/л), аспаратамиотрансфераза (64,2–71,5 Е/л), аланинаминотрансфераза (26,4–29,1 Е/л), сілтілі фосфатаза (115,2–132,4 Е/л) және глюкоза (2,6–3,1 ммоль/л) көрсеткіштері биохимиялық әдістермен зерттелді.

Сонымен қатар бұқашықтардың тірілей салмақ динамикасы анықталып, 15 айлық жаста I топта 397,0 кг, II топта 424,2 кг деңгейіне жетті. Интенсивті өсу кезеңіндегі орташа тәуліктік өсім I топта 890,6 г, II топта 933,8 г құрады.

Зерттеу нәтижелері теңгерілген рациондардың жануарлар организміндегі зат алмасуды оңтайландырып, физиологиялық көрсеткіштердің қалыпты деңгейде сақталуын қамтамасыз ететінін көрсетті. Жоғары генетикалық әлеуетке ие II топ бұқашықтары биохимиялық көрсеткіштері, абсолюттік және орташа тәуліктік өсім энергиясы бойынша I топтан статистикалық тұрғыдан сенімді жоғары нәтижелерге қол жеткізді ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$). Алынған нәтижелер толық құнды азықтандыру мен жоғары селекциялық құндылықтың ет бағытындағы ірі қара өнімділігін арттырудағы маңызын дәлелдейді.