

МРНТИ 34.31.37; 68.35.03

<https://doi.org/10.26577/bb1061202613>

Ш. Мазкират , Н.О. Сапарбаева , Д.И. Бабисекова ,
С.В. Дидоренко , Ш.А. Халбаева , А.М. Еспембетова ,
А.Е. Туkenov , К.М. Булатова* 

Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства,
п. Алмалыбак, Казахстан
*e-mail: bulatova_k@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИФЕНОЛОВ И АКТИВНОСТЬ ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ В ЛИСТЬЯХ И СЕМЕНАХ СОИ РАЗНЫХ ГРУПП СПЕЛОСТИ

Полифенолы составляют важную часть антиоксидантной защитной системы растения, являются ценными для здоровья человека веществами.

Целью исследований являлась оценка влияния сроков посева на накопление полифенолов в листьях и семенах сои разной спелости и сопряженность этих показателей с активностью фермента полифенолоксидазы на стадии формирования бобов.

Анализ содержания полифенолов позволяет дифференцировать сортовой, селекционный и коллекционный материал по показателям технологичности, ценности в питательном отношении.

Содержание полифенолов определяли с использованием реактива Фолина – Чокальтеу. Активность полифенолоксидазы определяли фотометрическим методом, в качестве субстрата использовали пирокатехин. По срокам развития сортообразцы варьировали от скороспелых до исключительно позднеспелых форм при посеве в стандартные сроки и от ультраскороспелых до позднеспелых и поздних сроках посева.

Определение полифенолов в листьях сои на стадии R5 выявило тенденцию снижения их концентрации по мере удлинения вегетационного периода при обоих сроках посева.

На стадии полной зрелости семян при обоих сроках посева наблюдалось повышение уровня полифенолов в зависимости от групп спелости.

Скороспелые формы характеризовались более низкой активностью полифенолоксидазы в сравнении с позднеспелыми формами.

Между содержанием полифенолов и активностью полифенолоксидазы наблюдалась отрицательная корреляция.

Проведенные исследования позволили дифференцировать 170 сортообразцов сои по накоплению полифенолов на разных стадиях репродуктивного развития в зависимости от группы спелости и сроков посева.

Ключевые слова: соя, сроки посева, группы спелости, полифенолы, полифенолоксидаза.

Sh. Mazkirat¹, N.O. Saparbayeva¹, D.I. Babissekova¹, S.V. Didorenko¹,
Sh.A. Khalbayeva¹, A.M. Yespembetova¹, A.Ye.Tukenov¹, K.M. Bulatova^{1*}

¹Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing, Almalybak, Kazakhstan
*e-mail: bulatova_k@rambler.ru

Effect of sowing dates on polyphenol content and polyphenol oxidase activity in leaves and seeds of soybean accessions with different maturity groups

Polyphenols constitute an important component of the plant antioxidant defense system and are valuable substances for human health.

The aim of the study was to evaluate the effect of sowing dates on polyphenol accumulation in the leaves and seeds of soybean cultivars differing in maturity group, as well as the association of these parameters with polyphenol oxidase activity at the pod formation stage.

Analysis of polyphenol content at early and late stages of soybean reproductive development allows differentiation of cultivars, breeding lines and germplasm collections based on technological traits and nutritional value.

Polyphenol content was determined using the Folin-Ciocalteu reagent. Polyphenol oxidase activity was determined by a photometric method, using pyrocatechol as a substrate. In terms of developmental timing, the genotypes ranged from early-maturing to extremely late-maturing forms under standard sowing dates and from ultra-early to late-maturing forms under delayed sowing.

Determination of polyphenol content in soybean leaves at the R5 stage revealed a tendency toward a decrease in their concentration with increasing length of the growing season under both standard and delayed sowing dates.

At the stage of full maturity under both sowing dates polyphenol levels increased in relation to maturity group.

Early-maturing forms were characterized by lower polyphenol oxidase activity compared with late-maturing forms

The correlation between polyphenol content and leaf polyphenol oxidase activity was negative.

The conducted studies made it possible to differentiate 170 soybean genotypes according to polyphenol accumulation at different stages of reproductive development, depending on maturity group and sowing dates.

Keywords: soybean, sowing dates, maturity groups, polyphenols, polyphenol oxidase.

Ш. Мазкират¹, Н. О. Сапарбаева¹, Д.И. Бабисекова¹, С.В. Дидоренко¹,
Ш.А. Халбаева¹, А.М. Еспембетова¹, А.Е.Тукенов¹, К.М. Булатова^{1*}

¹Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты,

Алмалыбақ ауылы, Қазақстан

*e-mail: bulatova_k@rambler.ru

Сояның әртүрлі пісу топтарына жататын сортүлгілерінің жапырағы мен дәніндегі полифенол мөлшері мен полифенолоксидазаның белсенділігіне себу мерзімдерінің әсері

Полифенолдар өсімдіктің антиоксиданттық қорғаныс жүйесінің маңызды құрамдас бөлігі және адам денсаулығы үшін құнды заттар болып саналады.

Зерттеудің мақсаты – әртүрлі пісу топтарына жататын соя сорттарының жапырақтары мен тұқымдарында полифенолдардың жиналуына себу мерзімдерінің әсерін бағалау және бұл көрсеткіштердің бұршақтың қалыптасу кезеңінде полифенолоксидаза ферментінің белсенділігімен байланысын анықтау.

Сояның репродуктивтік дамуының ерте және кеш сатыларында полифенолдардың құрамын талдау сорттық, селекциялық және коллекциялық материалды технологиялық сипаттамалары мен тағамдық құндылығы бойынша жіктеуге мүмкіндік береді.

Полифенолдардың құрамын Фолин–Чокальтеу реагентін пайдалана отырып анықталды. Полифенолоксидаза ферментінің белсенділігін субстрат ретінде пирокатехолды пайдаланып, фотометриялық әдіспен анықталды.

Дамудың әртүрлі мерзімдерінде сорттық үлгілер стандартты себу мерзімінде ерте пісетіннен тек кеш пісетін формаларға дейін, ал кеш себуда ультра ерте пісетіннен кеш пісетін формаларға дейін өзгерді.

R5 кезеңінде соя жапырақтарындағы полифенолдардың концентрациясы вегетациялық кезеңнің ұзақтығына байланысты төмендеу тенденциясын көрсетті, бұл үрдіс себудің екі мерзімінде де байқалды.

Толық пісу кезеңінде себудің екі мерзімінде де полифенолдардың деңгейі пісу топтарына байланысты жоғарылады.

Полифенолоксидаза ферментінің белсенділігінің өзгерісін талдау көрсеткендей, ерте пісетін формалар R5 кезеңінде жапырақтардағы фермент белсенділігі төмен болса, кеш пісетін формалар керісінше, ферменттің жоғары белсенділігімен сипатталды.

Полифенол көрсеткіші мен полифенолоксидаза белсенділігі арасында теріс корреляция байқалды.

Жүргізілген зерттеулер 170 соя сорттық үлгілерін репродуктивтік дамудың әртүрлі сатыларында полифенолдардың жиналуы бойынша, пісу топтарына және себу мерзімдеріне байланысты жіктеуге мүмкіндік берді.

Түйін сөздер: соя, себу мерзімдері, пісу топтары, полифенолдар, полифенолоксидаза.

Введение

Соя является одной из приоритетных культур, возделываемых в Казахстане. Площади, отведенные под посевы сои, ежегодно увеличиваются и достигают к настоящему времени 105 тыс. га. Основным регионом возделывания сои является юго-восток Казахстана (Дидоренко и др., 2025).

Сроки посева оказывают влияние на рост и продуктивность сои, а также на качественные показатели семян, поскольку они связаны с различным уровнем радиации, поглощаемой растениями, разной суммой эффективных температур и фотопериодом, от чего зависит продолжительность вегетативного периода и периода налива зерна (Сағызаров *et al.*, 2023).

Полифенолы – разнообразные и широко распространенные вторичные метаболиты – минорные биологически активные соединения растительного происхождения. В зависимости от строения молекулы среди них выделяют фенольные кислоты, стильбены, флавоноиды, лигнаны (Бобрышева и др., 2022).

Обладая антимикробной активностью по отношению к фитопатогенам и антиоксидантной к окислителям – озону и ультрафиолетовому облучению, полифенолы играют важную защитную роль в растениях от неблагоприятных факторов среды и во многом способствуют их эволюционной устойчивости (Теплова и др., 2018; Qaderi *et al.*, 2023).

Растения используют вторичные метаболиты, такие как полифенолы, для химической защиты от патогенов и травоядных (Фитилева & Сибикеев, 2023).

Известно около 10000 типов различных структур полифенольных соединений, встречающихся в растениях и пищевых продуктах (Alibekov, 2022; Zagorskina *et al.*, 2023).

Сильная биологическая активность большинства растительных полифенолов – антиоксидантная, антибактериальная и противовоспалительная, связана с полигидроксильной структурой (Šamec *et al.*, 2021; Ji *et al.*, 2024).

Накопление и биосинтез полифенолов в растениях зависят от многих условий, включая физиологически-биохимические, молекулярно-генетические и экологические факторы.

Сорта сои разных групп спелости специфичны по реакции на технологии возделывания (Yelnazarkyzy *et al.*, 2019; Дидоренко и др., 2021).

Так, установлено, что такой нежелательный для селекции признак как растрескиваемость бобов отрицательно коррелирует с продолжи-

тельностью вегетационного периода (Adie *et al.*, 2022) и скороспелые формы менее устойчивы к растрескиванию (Ibié *et al.*, 2022).

В процессе полимеризации различных мономеров из группы полифенолов образуется лигнин – природный фенольный полимер с высокой молекулярной массой, сложным составом и структурой, один из основных компонентов клеточной стенки растений (Liu *et al.*, 2018).

Картированием и генетическими исследованиями выявлены основные локусы количественных признаков (QTL) на хромосоме сои 16, связанных с растрескиваемостью бобов (Dong *et al.*, 2014; Funatsuki *et al.*, 2014), из которых два гена участвовали в лигнификации зоны растрескиваемости бобов. Установлено, что чрезмерная лигнификация усиливает растрескиваемость бобов (Chun & Hwang, 2025).

Полифенолы являются субстратами для полифенолоксидазы (PPO) – фермента, играющего важную роль в защитных механизмах растений (Panadare & Rathod, 2018).

Полифенолоксидазы в присутствии молекулярного кислорода окисляют полифенолы в соответствующие хиноны (Лебедев, 1988, с.157).

Целью наших исследований являлась оценка влияния сроков посева на накопление полифенолов в листьях и семенах сои разных сроков созревания и сопряженность этих показателей с активностью фермента полифенолоксидазы на стадии формирования бобов.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись 170 коллекционных образцов сои лаборатории масличных культур нашего института (ТОО «КазНИИЗиР»), включающих сортовой материал отечественной селекции, коллекционные номера НИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова, Россия; Всероссийского НИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта, Сибирского НИИ кормовых культур, Красноярского НИИ сельского хозяйства, НПО «Соя-Центр», Беларусь; НИИ сои, Полтавская область, Украина; US National Plant Germplasm System (USDA) США; и НИИ полевых и овощных культур, Нови-Сад, Сербия.

Образцы выращивались на поливном стационаре лаборатории масличных культур ТОО «Казахский НИИ земледелия и растениеводства» в 2024г. Стационар находится на высоте 740 м. над уровнем моря, почвы участка представлены суглинистым сероземом с содержанием гумуса около 2 см. Полив обеспечивался капельным

орошением в основные генеративные фазы развития сои: от цветения до налива бобов. Метеорологические условия 2024 г. сложились благоприятными для развития растений: температурный фон был в пределах средних многолетних данных, уровень осадков в летние месяцы превышал средние многолетние показатели, что положительно отразилось на формировании элементов урожайности растений сои.

Посев проводился в общепринятый, стандартный для региона срок: третья декада апреля и более поздний – через месяц (конец мая месяца). Учетная делянка 1 погонный метр, размещение посева четырехрядковая делянка, расстояние между рядками 30 см, норма высева 25 семян на погонный метр. Повторность трехкратная.

Стадии вегетационного развития отмечали согласно шкале (Nleuа et al., 2013).

Растительный материал для биохимического анализа отбирали на стадии репродуктивного развития, (R5, стадия начала налива бобов) хранили до начала анализа при $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Семена отбирались после наступления их полной спелости, на стадии R8.

Экстракцию полифенолов проводили согласно Wissam и др. (2012), определение – с использованием реактива Фолина – Чокальтеу. В качестве стандартного фенольного соединения использовалась галловая кислота. Количество полифенолов выражали в мг/г сырого веса.

Экстракцию полифенолоксидазы (PPO) осуществляли фосфатным буфером содержащим 0.25 mM этилендиаминтетрауксусную кислоту (ЭДТА), 2% поливинилпирролидон 25 (PVP-25), 1 mM аскорбиновую кислоту и глицерин (10% w/v), согласно прописи Khan & Panda (2008).

Определение активности полифенолоксидазы вели по прописи Liu и др. (2005), в качестве

субстрата использовали пирокатехин, активность выражали в units/g FW .

Измерения проводили в трехкратной повторности.

Различия содержания полифенолов и активности полифенолоксидазы в листьях и семенах сои между группами спелости оценивали с помощью однофакторного анализа ANOVA. Статистический анализ выполнен в программе R 4.3.3 (R Core Team et al., 2016).

Результаты исследования и их обсуждение

По срокам развития сортообразцы и линии сои группируются от ультраскороспелых до исключительно позднеспелых (Дидоренко, 2019, с.27).

Изученные нами сортообразцы варьировали от скороспелых до исключительно позднеспелых форм при посеве в стандартные сроки и от ультраскороспелых до позднеспелых при поздних сроках посева (таблица 1).

Значительная часть образцов при стандартном, общепринятом сроке посева относится к скороспелым и среднескороспелым группам, их доля в наборе составляет 26,47% и 20,59%, соответственно. При позднем посеве наблюдается сокращение продолжительности вегетативного развития образцов сои, в связи с чем не обнаруживаются растения IV и V группы, часть растений переходит в группу ультраскороспелых (000). В целом, при позднем посеве увеличивается доля очень скороспелых и среднепозднеспелых сортообразцов.

Отношение того или иного сорта к определенной группе спелости вследствие биологических особенностей в большой степени зависит от региона произрастания и он может в одних условиях выращивания быть скороспелым, в других – позднеспелым (Барсуков, 2005).

Таблица 1

Длина вегетационного периода развития сои, группирование по срокам развития, доля образцов каждой группы при стандартном и позднем сроках посева

Группа*	УС	ОС	С	СС	СП	П	ОП	ИП
	000	00	0	I	II	III	IV	V
Продолжительность вегетации, дней	74-85	86-101	102-111	112-120	121-128	128-138	139-154	>155
Доля образцов, %								
Стандартный срок	нет	11.6	26.47	20.59	11.76	11.76	14.12	3.58
Поздний срок	4.76	23.81	25.60	19.05	21.43	5.36	нет	нет

* УС-ультраскороспелые; ОС-очень скороспелые; С-скороспелые; СС – среднескороспелые; СП-среднепозднеспелые; П-позднеспелые; ОП-очень позднеспелые; ИП-исключительно позднеспелые; нет – отсутствие образцов.

Анализ влияния сроков сева на прохожде-ние фенологических фаз и продолжительность межфазных периодов растениями сои в условиях северо-востока республики Беларусь показал сокращение сроков наступления этапов развития и, в целом, вегетационного периода у различных по скороспелости сортов (Хитрюк & Тарануха, 2023).

Более быстрое развитие сои в течение вегетации при посеве в более поздние сроки отмечают и другие авторы (Васильченко & Метлина, 2018).

Так, в **условиях** Нечерноземной зоны России при посеве сои раннеспелого сорта Светлая в более поздние сроки ускорялось появление всходов и наблюдалось более быстрое развитие растений в течение вегетации (Храмой и др., 2022). Отмечается, что при позднем посеве (15 мая) созревание сои уходит на сентябрь, что может приводить к неустойчивому вызреванию семян, так как температурный режим в сентябре не соответствует требованиям сои.

Поскольку сроки созревания влияют на развитие сои, на формирование и качество семян (Cover et al., 2019), они могут отразиться и на на-

коплении полифенолов в листьях и семенах сортообразцов различных групп спелости, посеянных в стандартные для региона и поздние сроки.

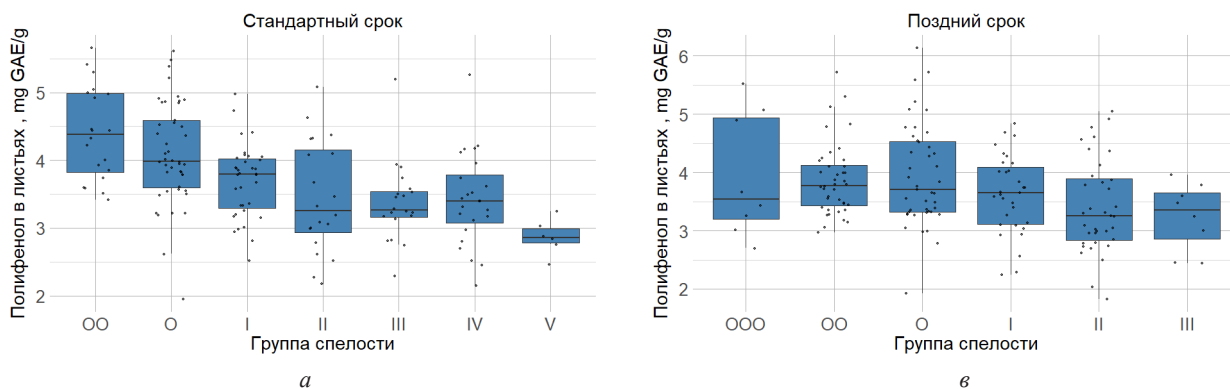
Ряд авторов отмечают, что в зависимости от групп спелости сорта сои могут различаться по накоплению полифенолов (Azam et al., 2024).

На рисунке 1 приведено содержание полифенолов в листьях сои, различающейся по длине вегетационного периода при общепринятом в регионе (стандартном) и позднем сроках посева. Средний уровень полифенолов имел наибольшее значение в листьях скороспелых форм (4,39 мг/г), тогда как их среднее содержание в листьях очень позднеспелых форм при общепринятых сроках посева было значительно ниже. Данные были достоверны как при стандартном сроке посева ($F=9.405$, $P=7.34e-09$), так и при позднем сроке ($F = 3.185$, $P = 0.00908$).

В целом, наблюдается тенденция снижения концентрации полифенолов в листьях сои на стадии R5 по мере удлинения вегетационного периода. Аналогичная направленность в накоплении полифенолов в листьях отмечается и при поздних сроках посева (рисунок 1 а).

Рисунок 1

Содержание полифенолов в листьях сои разных сроков созревания



a – общепринятый (стандартный) срок посева, *в* – поздний посев

Сравнение накопления вторичных метаболитов у сортообразцов при разных сроках сева показало, что средний уровень полифенолов у скороспелых образцов стандартных сроков сева выше, чем у таковых позднего срока посева, тогда как позднеспелые формы при обоих сроках посева не проявляют специфичности в их накоплении.

Стадия R5 характеризуется быстрым ростом семян и перераспределением сухой массы и питательных веществ внутри растения (Nleuа et al., 2013).

Анализ содержания 16 соединений группы полифенолов – флавоноидов и изофлавонов 10 различных сортов сои на шести стадиях развития листьев и в семенах выявил четкие различия в метаболических профилях между вегетативной и репродуктивной стадиями, а также между различными сортами сои (Ha et al., 2025).

Бобы сои – это фотосинтетически активные органы на ранних репродуктивных стадиях (Bianculli et al., 2016). Сравнение сои овощной

как пример образцов с растрескивающимися бобами и набора сортообразцов сои зерновой устойчивых к растрескиванию бобов на стадии R5 (начало созревания), R6 (полное созревание) и R8 (полная зрелость) показало различие фаз и объектов исследований по содержанию сахарозы и растворимых сахаров а также кальция, железа и марганца (Tu et al., 2025).

Авторы установили, что содержание кальция, железа и марганца в створках бобов отрицательно коррелировало с растрескиваемостью на стадиях R5 и R6. На стадии R8 содержание углерода, общей клетчатки и лигнина положительно коррелировало с осыпаемостью. По мнению авторов, более низкое содержание железа и марганца в створках стручков может быть сигналом, влияющим на трансформацию продуктов фотосинтеза и, следовательно, приводящим к фиброзу и лигнификации створок бобов.

Сроки созревания семян являются ключевым фактором, влияющим на растрескиваемость бобов сои. Использование относительно позднеспелых сортов – это варианты управления, которые можно применять с целью минимизации растрескивания бобов (Lingxiao & Nacer, 2011).

Учитывая содержание на стадии R5 полифенолов, которые являются мономерами процесса биосинтеза лигнина, в изученных нами коллекционных образцах сои с разной продолжительностью вегетационного периода можно предположить, что сортообразцы IV-ой и V-ой группы спелости при стандартном сроке посева и образцы II-ой и III-ей группы спелости при поздних сроках сева будут менее подвержены растрескиванию бобов и осыпаемости семян.

Наряду со специфичностью накопления полифенолов в зависимости от группы скороспелости, внутри каждой группы наблюдается разнообразие по содержанию метаболитов: встречаются образцы как с высоким так и низким уровнем полифенолов, но основная масса отражает специфичность генотипов в их накоплении в зависимости от длины вегетационного развития.

Известно, что фермент полифенолоксидаза участвует в окислении широкого спектра полифенолов, катализируя образование хинонов из фенолов в присутствии молекулярного кислорода.

Активность фермента в значительной степени повышается в листьях сои при заражении *Fusarium solani* (Yuldashov et al., 2023). Изменения в содержании полифенолов и активности

фермента полифенолоксидазы выявлены в пораженных фузариозом частях растений и семенах фасоли (Pareek & Varma, 2015).

На рисунке 2 показано изменение активности полифенолоксидазы листьев в усредненном выражении у образцов сои разных сроков созревания как при стандартном, так и при позднем сроках посева. Отмечается, что скороспелые формы характеризуются более низкой активностью полифенолоксидазы в листьях на стадии R5, тогда как позднеспелые формы, напротив, имеют более высокие показатели активности фермента. Так, например, среднее значение активности полифенолоксидазы в листьях сои стандартного срока посева варьировало от 39,55 U/mg у образцов очень скороспелой группы (00) до 116,76 U/mg у очень позднеспелых (IV) образцов, тогда как у образцов позднего посева от 47,98 U/mg в группе очень скороспелых (00) форм до 94,76 U/mg у среднеспелых (II) форм. Достоверность данных подтверждена с помощью однофакторного ANOVA: $F = 12.68$, $P = 1.02e-11$ при стандартном сроке сева, $F = 4.655$, $P = 0.000541$ при позднем.

Корреляция между содержанием полифенолов и активностью полифенолоксидазы образцов, высевавшихся в общепринятые для региона сроки была отрицательной и составила $r = -0,31$. Корреляция между аналогичными данными образцов при позднем сроке была также отрицательной, однако менее выраженной ($r = -0,2$).

Публикации относительно взаимосвязи между активностью полифенолоксидазы и уровнем полифенолов в листьях сои практически отсутствуют, есть данные исследований на других растениях, таких как картофель (Wang et al., 2020), в которых отмечается отсутствие каких-либо значимых корреляций между ними.

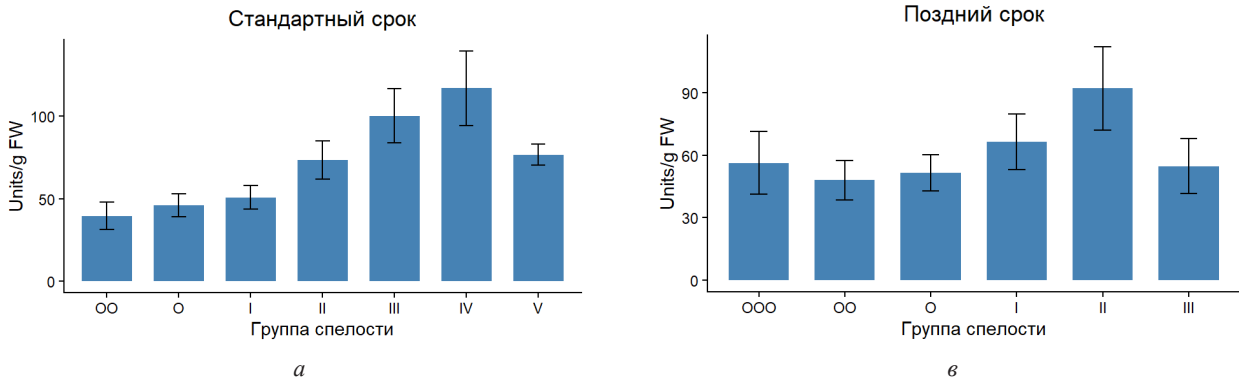
Esmaili и др. (2017) на примере крокуса показали обратную корреляцию между содержанием фенольных соединений и активностью РРО на стадии прорастания

Профиль метаболитов листьев отличается от такового семян, что связано с тканеспецифическим характером накопления метаболитов в сое (Sahin et al., 2019).

Полифенолы семян бобовых, в том числе и сои традиционно считались антипитательными соединениями. Однако в последние годы выявляется все большее число полезных свойств полифенолов из самых разных растительных источников.

Рисунок 2

Активность полифенолоксидазы в листьях сои разных сроков созревания



a – общепринятый (стандартный) срок посева, в – поздний посев

Исследования подчеркивают двойственную природу антипитательных веществ в соевых бобах. Так, обнаружено, что некоторые антипитательные вещества обладают полезными для здоровья свойствами, включая антиоксидантное действие, потенциальное снижение риска развития рака и противовоспалительное действие. Однако важно отметить, что те же самые вещества могут также оказывать и негативное воздействие (Di et al., 2025).

Так, в состав полифенолов входят танины, относящиеся к антипитательным веществам семян сои. Отрицательным свойством этих соединений является их способность осаждать белки, что приводит к снижению усвояемости белка и незаменимых аминокислот в их составе (Samtiya et al., 2020).

В то же время, в небольшом количестве танины подавляют рост грибов, бактерий и вирусов, могут проявлять антиканцерогенную активность (Chang et al., 1998).

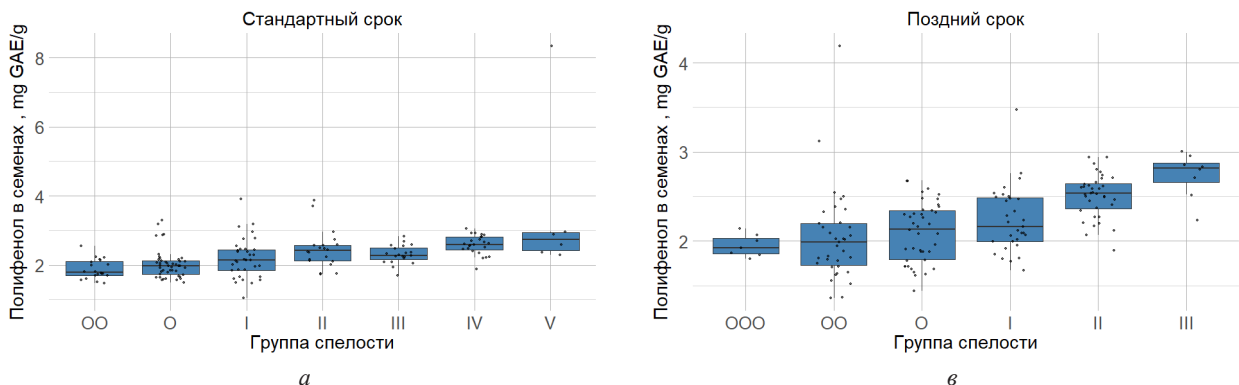
Изофлавоны – другая группа полифенолов с биоактивными свойствами, большая часть которых концентрируется в семенах (Król-Grzymała & Amarowicz, 2020).

Они обладают выраженными антиоксидантными свойствами и являются важным компонентом неферментативной защитной системы растений от абиотических и биотических стрессов (Sharma et al., 2019).

Содержание полифенолов в семенах изученных сортобразцов на стадии R8 (полная зрелость) разных сроков созревания при стандартном и позднем сроках посева показано на рисунке 3.

Рисунок 3

Содержание полифенолов в семенах сои разных сроков созревания



a – общепринятый (стандартный) срок посева, в – поздний посев

В обоих случаях наблюдается повышение уровня в семенах в зависимости от групп спелости. Так, при стандартных сроках посева среднее значение полифенолов у образцов очень скороспелой группы (00) составляло 1,88 мг/г при вариации от 1,48 до 2,55 мг/г в пределах группы, тогда как у исключительно позднеспелых форм (V)- 2,62 мг/г, при вариации от 2,29 до 2,96 г/мг. Уровень полифенолов ультраскороспелых (000) и позднеспелых (III) форм при поздних сроках посева был сравним с таковым у самых скороспелых образцов сои стандартных сроков сева и составлял 1,95 и 2,74 мг/г. соответственно. Варьирование в пределах группы ультраскороспелых образцов составляло от 1,8 до 2,14 мг/г, тогда как в группе позднеспелых образцов минимальный уровень составлял 2,52 мг/г, максимальный -3,0 мг/г. В целом, достоверность всех данных по этому показателю также подтверждена с помощью однофакторного ANOVA анализа: $F = 9.176$, $P = 1.18e-08$ при стандартном сроке сева, $F = 10.86$, $P = 6.08e-09$ при позднем.

Аналогичные тенденции в накоплении полифенолов отмечаются в публикации Choi и др. (2020). Общее содержание изофлавонов оценивалось в образцах, сгруппированных по срокам созревания: раннеспелые, среднеспелые и позднеспелые. Среднее содержание этой группы полифенолов было самым низким в раннеспелых образцах по сравнению с позднеспелыми и среднеспелыми.

В исследованиях Azam и др. (2024) также подтверждается, что позднеспелые сорта сои характеризуются более высоким уровнем отдельных и суммарных изофлавонов вне зависимости от условий окружающей среды.

Содержание полифенолов в семенах сои изучалось в большей степени относительно питательной ценности семян, тогда как сведений об их взаимосвязи с растрескиваемостью бобов и осыпаемостью семян нет. Исследования, проведенные на семенах перспективных мутантных линий зернобобовой культуры маш (*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek) показали более высокое содержание фенолов и лигнина у образцов с низким процентом осыпаемости и прорастания семян и, в целом, высокую отрицательную корреляцию между осыпаемостью семян после растрескивания бобов и содержанием указанных полифенолов (Mogali et.al., 2025).

Совокупность данных о сопряженности нежелательного для селекции сои признака «растрескиваемость бобов» с продолжительностью

вегетационного периода, а также высокого уровня полифенолов в семенах позднеспелых форм, более устойчивых к растрескиванию, предполагает использование данного показателя не только в оценке питательной ценности образцов, но и в отборе технологичных форм сои, сохраняющих урожайность при уборке.

Заключение

В результате проведенных исследований нами установлено, что в условиях юго –востока Казахстана –основного региона возделывания сои, накопление полифенолов и активность антиоксидантного фермента полифенолоксидазы в большей степени зависит от группы спелости сортообразцов, нежели от сроков посева семян.

Уровень концентрации полифенолов в листьях сортообразцов сои на стадии R5 (начало налива бобов) снижается по мере удлинения вегетационного периода. Аналогичная направленность в накоплении полифенолов в листьях отмечается и при поздних сроках посева. По содержанию полифенолов в семенах, на стадии полной зрелости (R8), напротив, наблюдается рост их концентрации от скороспелых сортообразцов к позднеспелым, достигая максимального уровня у исключительно позднеспелых форм при стандартных сроках сева и позднеспелых форм при затягивании сроков посева.

Выявлена отрицательная корреляция между содержанием полифенолов и активностью полифенолоксидазы листьев на стадии начала налива бобов при обоих, традиционном и позднем сроках посева.

В пределах каждой группы спелости выявлено разнообразие по содержанию полифенолов в семенах, исходя из чего, при дифференциации полифенолов на составные соединения, возможен отбор генотипов сои с ценным питательным составом семян и маркировка образцов с высоким уровнем антипитательных фенольных соединений.

Возможна сопряженность уровня полифенолов на стадии налива зерна и полной спелости с растрескиваемостью бобов.

Источник финансирования

Работа выполнена в рамках грантового финансирования Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP23487849).

Вклад авторов

Мазкират Ш.: Формальный анализ Методология, Валидация, Визуализация; Сапарбаева Н.О.: Курирование данных, Исследование, Визуализация; Бабисекова Д.И.: Исследование, Написание – рецензирование и редактирование; Дидоренко С.В.: Администрирование проекта, Ресурсы, Привлечение финансирования; Халбаева Ш.А.: Исследование, Написание – рецензирование и редактирование; Еспембетова А.М.: Исследование, Ресурсы; Тукенов А.Е.: Курирование данных, Визуализация; Булатова К.М.: Концептуализация, Научное руководство, Написание – первоначальный вариант.

References

- Adie, M. M., Sundari, T., Wijanarko, A., Purwaningrahayu, R. D., Krisnawati, A. (2022). Identification of pod shattering resistance and associations between agronomic characters in soybean using Genotype by Trait Biplot. *Legume Research-An International Journal*, 45(1), 18-24. <https://doi.org/10.18805/LR-625>.
- Alibekov, R. (2022). English Study of the polyphenols content in the various apples sorts of the Kazakhstan selection. *Academic Scientific Journal of Chemistry*, (2), 169–179. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-1491.112>
- Azam, M., Zhang, S., Qi, J., Abdelghany, A. M., Shaibu, A. S., Feng, Y., Sun, J. (2024). Effect of Origin, Seed Coat Color, and Maturity Group on Seed Isoflavones in Diverse Soybean Germplasm. *Plants*, 13(13), 1774.
- Bianculli, M. L., Aguirrezábal, L. A., Irujo, G. A. P., Echarte, M. M. (2016). Contribution of incident solar radiation on leaves and pods to soybean seed weight and composition. *European Journal of Agronomy*, 77, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.03.002>
- Cañizares, L. D. C. C., da Silva Timm, N., Gaioso, C. A., Meza, S. L. R., Hoffmann, J. F., Ferreira, C. D., de Oliveira, M. (2023). Isoflavone profile identification and storage stability of different soybean genotypes sown at standard and late dates in a subtropical climate. *Biocatalysis And Agricultural Biotechnology*, 51, 102739. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102739>
- Choi, Y. M., Yoon, H., Lee, S., Ko, H. C., Shin, M. J., Lee, M. C., Desta, K. T. (2020). Comparison of isoflavone composition and content in seeds of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) germplasm with different seed coat colors and days to maturity. *Korean Journal of Plant Resources*, 33(6), 558-577.
- Chun, J., & Hwang, S. (2025). Genome-wide association and selection studies for pod dehiscence resistance in the USDA soybean germplasm collection. *PLoS one*, 20(3), e0318815. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0318815>
- Chung, K. T., Wei, C. I., Johnson, M. G. (1998). Are tannins a double-edged sword in biology and health?. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4), 168-175.
- Cover, J. E., Aguiar, C. D., da Silva, A. V., da Silva, C. M., & Mielezski, F. (2019). Productive potential and seed quality of soybean genotypes with different maturity groups. *Australian Journal of Crop Science*, 13(7), 1155-1161.
- Di, D., He, S., Zhang, R., Gao, K., Qiu, M., Li, X., Shi, J. (2025). Exploring the dual role of anti-nutritional factors in soybeans: a comprehensive analysis of health risks and benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 65(28), 5772-5789.
- Dong, Y., Yang, X., Liu, J., Wang, B. H., Liu, B. L., Wang, Y. Z. (2014). Pod shattering resistance associated with domestication is mediated by a NAC gene in soybean. *Nature communications*, 5(1), 3352.
- Esmaili, N., Ebrahimzadeh, H., Abdi, K. (2017). Correlation between polyphenol oxidase (PPO) activity and total phenolic contents in *Crocus sativus* L. corms during dormancy and sprouting stages. *Pharmacognosy Magazine*, 13(3), 519.
- Funatsuki, H., Suzuki, M., Hirose, A., Inaba, H., Yamada, T., Hajika, M., Fujino, K. (2014). Molecular basis of a shattering resistance boosting global dissemination of soybean. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(50), 17797-17802.
- Ha, K., Mani, V., Park, S., Kim, S., Lee, S., Kim, J. K., Shin, K. S. (2025). Dynamic polyphenolic profiling of soybean seeds and leaves during developmental stages. *Scientific Reports*, 15(1), 39267. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-23063-2>
- Ibié, G. T., Nofou, O., Inoussa, D., Frank, E., Fidèle, B. N., Pierre, A. E. D. S., Fabrice W. N., Oumar B., Bouma T., James B. N., Bertin M. Z., Mahamadou S., and Paco S. (2022) Evaluation of medium maturity group of soybean (*Glycine max* L. Merr) for agronomic performance and adaptation in Sudanian zone of Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*, 18(4), 264-275. <https://doi.org/10.5897/ajar2022.15972>.
- Ji, W., Chen, F., Chen, Z., Jiang, H. (2024). Research in advances in the bioactivity of plant polyphenols. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(11), 8037-8044. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17494>
- Khan, M. H., & Panda, S. K. (2008). Alterations in root lipid peroxidation and antioxidative responses in two rice cultivars under NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1), 81-89.
- Król-Grzymała, A., & Amarowicz, R. (2020). Phenolic compounds of soybean seeds from two European countries and their antioxidant properties. *Molecules*, 25(9), 2075.
- Lingxiao Z., Nacer B. (2011) Effects of Planting and Maturity Dates on Shattering Patterns under Early Soybean Production System. *American Journal of Plant Sciences*, 2012(3), 119-124. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2012.31013>
- Liu, H., Jiang, W., Bi, Y., Luo, Y. (2005). Postharvest BTH treatment induces resistance of peach (*Prunus persica* L. cv. Jiubao) fruit to infection by *Penicillium expansum* and enhances activity of fruit defense mechanisms. *Postharvest biology and technology*, 35(3), 263-269.
- Liu, Q., Luo, L., & Zheng, L. (2018). Lignins: biosynthesis and biological functions in plants. *International journal of molecular sciences*, 19(2), 335. <https://doi.org/10.3390/ijms19020335>
- Mogali, S., Patil, N. K., Ranjita, H., Balol, G., & Jaggal, L. (2025). Development of Mungbean Genotypes for Shattering Tolerance and Correlation Analysis with Biochemical and Morphological Factors Governing Pre Harvest Sprouting. *Legume Research: An International Journal*, 48(9), 1434-1441. doi: 10.18805/LR-5089
- Nleya, T., Sexton, P., Gustafson, K., & Miller, J. M. (2013). Soybean growth stages. *IGrow soybean: Best Management Practices for soybean production*, 3.
- Panadare, D., & Rathod, V. K. (2018). Extraction and purification of polyphenol oxidase: A review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 14, 431-437. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.03.010>Get rights and content
- Pareek, V., & Varma, R. (2015). Alteration in total Phenol contents and PPO enzyme activity in wilt infected cluster bean plant parts caused by *Fusarium solani*. *intervals*, 4(12).
- Qaderi, M. M., Martel, A. B., & Strugnell, C. A. (2023). Environmental factors regulate plant secondary metabolites. *Plants*, 12(3), 447.

- R Core Team. (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org/>.
- Sahin, I., Bilir, B., Ali, S., Sahin, K., Kucuk, O. (2019). Soy isoflavones in integrative oncology: increased efficacy and decreased toxicity of cancer therapy. *Integrative cancer therapies*, 18, 1534735419835310. <https://doi.org/10.1177/1534735419835310>
- Šamec, D., Karalija, E., Šola, I., Vujčić Bok, V., Salopek-Sondi, B. (2021). The role of polyphenols in abiotic stress response: The influence of molecular structure. *Plants*, 10(1), 118.
- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Sharma, A., Shahzad, B., Rehman, A., Bhardwaj, R., Landi, M., Zheng, B. (2019). Response of phenylpropanoid pathway and the role of polyphenols in plants under abiotic stress. *Molecules*, 24(13), 2452.
- Tu, B., Liu, C., Zhang, Q., Liu, X. (2025). Quantitative differences in pod valve composition affect shattering in vegetable and grain soybean. *Italian Journal of Agronomy*, 100050.
- Wang, L., Wang, W. X., Zeng, L., Suo, H. C., Li, C. C., Shan, J. W., Xiong, X. Y. (2020). Characteristics and differences of polyphenol oxidase, peroxidase activities and polyphenol content in different potato (*Solanum tuberosum*) tubers. *Applied Ecology & Environmental Research*, 18(6).
- Wissam, Z., Ghada, B., Wassim, A., Warid, K. (2012). Effective extraction of polyphenols and proanthocyanidins from pomegranate's peel. *Int J Pharm Pharm Sci*, 4(3), 675-682.
- Yelnazarkyzy, R., Kenenbayev, S. B., Didorenko, S. V., Borodychev, V. V. (2019). Soy cultivation technology with gravity drip irrigation in South and Southeast Kazakhstan. *Journal of Ecological Engineering*, 20(7), 39-44. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/109862>
- Yuldashov, U., Matniyazova, H., Tillaboyeva, D., Nabiyeu, S., Azimov, A., & Salohiddinova, M. (2023). Physiological and biochemical properties of soybean cultivars infected with phytopathogenic fungi. *SABRAO J. Breeding Genet*, 55(6), 2025-2036. <http://doi.org/10.54910/sabrao2023.55.6.16>
- Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in plants: structure, biosynthesis, abiotic stress regulation, and practical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13874.
- Барсуков, С. С. (2005). Продуктивность сои в зависимости от сорта и густоты стояния растений в посевах. *Кормопроизводство*, (9), 25-26. <https://doi.org/10.3390/plants13131774>
- Бобрышева, Т.Н., Анисимов, Г.С., Золоторева, М.С., Бобрышев, Д.В., Будкевич, Р.О., Москалев, А.А. (2022) Полифенолы как перспективные биологически активные соединения. *Вопросы питания*, 92(1), 92-107. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-92-107>
- Васильченко, С. А., & Метлина, Г. В. (2018). Влияние сроков посева на продуктивность сортов сои селекции АНЦ» Донской» в южной зоне Ростовской области. *Зерновое хозяйство России*, (6), 9-13. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-60-6-9-13>
- Дидоренко, С. В. (2019). *Селекция сои в Казахстане* (изд.). Асыл кітап, 246.
- Дидоренко, С. В., Кабылбекова, Г. К., Сайкенова, А. Ж., Касенов, Р. Ж. (2021). Урожайность сортов сои разных групп спелости в зависимости от предпосевной обработки семян. *Вестник КазНУ. Серия Экологическая*, 54. <https://doi.org/10.26577/EJE.2021.v69.i4.06>
- Дидоренко, С. В., Касенов, Р. Ж., Альдеков, А. Н., Далибаева, А. М., Куныпияева, Г. Т. (2025). Новый сорт сои Ай Сауле. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 1(53), 40-48. <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2025-1-40-48>
- Лебедев, С. И. (1988). Физиология растений: учебник и учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений. 3-е изд., перераб. и доп. М.: *Агропромиздат*, 157-162.
- Теплова, В. В., Исакова, Е. П., Кляйн, О. И., Дергачева, Д. И., Гесслер, Н. Н., Дерябина, Ю. И. (2018). Природные полифенолы: биологическая активность, фармакологический потенциал, пути метаболической инженерии (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, 54(3), 215-235.
- Фитилева, З. Е., & Сибикеев, С. Н. (2023). Селекция мягкой пшеницы на продукты функционального питания. *Аграрный научный журнал*, (7), 48-55. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i7pp48-55>
- Хитрюк, О. А., & Тарануха, В. Г. (2023). Влияние сроков сева на формирование густоты стеблестоя и продолжительность вегетационного периода сортов сои в условиях Северо-Восточной части республики Беларусь. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, (3), 116-120.
- Храмой, В. К., Сихарулидзе, Т. Д., Рахимова, О. В., Кириченко, А. А. (2022). Влияние сроков посева на формирование урожая семян сои в условиях Центрального района Нечерноземной зоны. *Аграрная наука*, (6), 66-69. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-360-6-66-69>

Сведения об авторах:

Мазкират Шынар – заведующая лабораторией молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: shynarbek.mazkirat@gmail.com).

Сапарбаева Нургуль Оразбайқызы – докторант кафедры агрономии, селекции и биотехнологий Казахского национального аграрного университета, младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: n.saparbaeva@mail.ru).

Бабисекова Диляра Искандеровна – докторант кафедры агрономии, селекции и биотехнологий Казахского национального аграрного университета, научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: dilyara280188@mail.ru).

Дидоренко Светлана Владимировна – кандидат биологических наук, профессор, заведующая лабораторией масличных культур Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: svetl.did.@mail.ru).

Халбаева Шолпан Айбекқызы – научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: sholpan_2706@mail.ru).

Еспембетова Акжан Мухамбетжановна – старший лаборант лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: akzhanes@mail.ru).

Туменов Азамат Ержанұлы – младший научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: tukenov97@mail.ru).

Булатова Кульпаи Мансуровна – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории молекулярно-биологического анализа растений Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (Алматинская область, Карасайский район, п. Алмалыбак, e-mail: bulatova_k@rambler.ru).

Information about the authors:

Mazkirat Shynar – Head of the laboratory of Molecular Biological Analysis of Plants. (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: shynarbek.mazkirat@gmail.com).

Saparbayeva Nurgul Orazbaykyzy – PhD doctoral student of the Department of Agronomy, Breeding and Biotechnology, Kazakh National Agrarian University, Junior research scientist at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: n.saparbaeva@mail.ru).

Babissekova Dilyara Iskanderovna – PhD doctoral student of the Department of Agronomy, Breeding and Biotechnology, Kazakh National Agrarian University, research scientist at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: dilyara280188@mail.ru).

Didorenko Svetlana Vladimirovna – Candidate of Biological Sciences, professor, head of the laboratory of oilseed crops, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: svetl.did.@mail.ru).

Khalbayeva Sholpan Aibekkyzy – research scientist at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: sholpan_2706@mail.ru).

Espembetova Akzhan Mukhambetzhonovna – technician at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: akzhanes@mail.ru).

Tukenov Azamat Erzhanuly – Junior research scientist at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: tukenov97@mail.ru).

Bulatova Kulpash Mansurovna – Doctor of Biological Sciences, professor, principal research scientist at the laboratory of molecular biological analysis of plants, Kazakh Research Institute of Agriculture and Plant Growing (Almaty region, Karasay district, Almaty, e-mail: bulatova_k@rambler.ru).

Авторлар туралы мәлімет:

Мазкират Шынар – Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының меңгерушісі (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: shynarbek.mazkirat@gmail.com).

Сапарбаева Нургуль Оразбайқызы – Қазақ Ұлттық аграрлық университетінің агрономия, селекция және биотехнология кафедрасының докторанты, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: n.saparbaeva@mail.ru).

Бабиссекова Дилара Искандеровна – Қазақ Ұлттық аграрлық университетінің агрономия, селекция және биотехнология кафедрасының докторанты, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: dilyara280188@mail.ru).

Дидоренко Светлана Владимировна – Биология ғылымдарының кандидаты, профессор, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты Майлы дақылдар зертханасының меңгерушісі (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: svetl.did.@mail.ru).

Халбаева Шолпан Айбекқызы – Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының ғылыми қызметкері (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: sholpan_2706@mail.ru).

Еспембетова Акжан Мухамбетжановна – Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының аға зертханашысы (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: akzhanes@mail.ru).

Туменов Азамат Ержанұлы – Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: tukenov97@mail.ru).

Булатова Кульпаи Мансуровна – биология ғылымдарының докторы, профессор, Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты, Өсімдіктердің молекулалық-биологиялық талдау зертханасының бас ғылыми қызметкері (Алматы облысы, Карасай ауданы, Алмалыбак ауылы, e-mail: bulatova_k@rambler.ru).

Поступило 6 октября 2025 года

Принято 20 февраля 2026 года