

ВЛИЯНИЕ ЗАСУХИ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА СОИ В УСЛОВИЯХ ЮГО-ВОСТОКА КАЗАХСТАНА

Р.С. ЕРЖЕБАЕВА, кандидат биологических наук,

E-mail: raushan.yerzhebayeva@zir.kz, ORCID ID 0000-0003-4585-8505,

С.В. ДИДОРЕНКО, кандидат биологических наук, E-mail: svetl_did@mail.ru,

ORCID ID 0000 0002 2223 0718,

А.А. АМАНГЕЛДИЕВА, научный сотрудник, E-mail: aigul_seidinabiyeva@inbox.ru,

ORCID ID 0000-0003-2664-0033,

Т.Д. МЕРЕЕВА, E-mail: tolkin_ali@mail.ru, ORCID ID 0000-0002-1448-7521,

КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И
РАСТЕНИЕВОДСТВА, П. АЛМАЛЫБАК, РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

***Аннотация.** Центральная Азия и Казахстан подвержены риску засухи и особенно уязвимы перед изменением климата. Основные угрозы связаны с аридным климатом, ростом среднегодовых температур. Нехватка воды является ключевым абиотическим фактором, оказывающим влияние на урожайность сои. Мировое производство сои в основном направлено на получение растительного белка и масла. В этой связи целью нашего исследования являлось изучение влияния стресса засухи на содержание белка и масла в семенах сои различных групп спелости для поиска генотипов, способных минимизировать потери белка и масла при дефиците орошения в условиях юго-востока Казахстана. Изучено 19 генотипов сои 5 групп спелости на контрастных фонах орошения и без орошения. Исследования проведены в течение четырех лет (2020-2023 гг.). Установлено: содержание белка в ранних группах спелости MG 00 (43,8-44,1%) и MG 0 (43,7-44,9%) достоверно выше, чем у образцов MG II - MG III (39,3-41,3%), как на орошении, так и в опыте с засухой. В опыте с дефицитом орошения содержание белка в среднем по всем группам спелости было выше на 3%, чем на орошении, а содержание масла снизилось на 3,1% по сравнению с опытом на орошении. Изучение содержания протеина и масла в зерне сои в условиях засухи позволили зафиксировать слабые положительные корреляции значений урожайности зерна с содержанием белка ($r=0,12$) и масла ($r=0,26$). Выделены генотипы сои с высоким содержанием белка (4) и масла (4), не снижающие своих значений под воздействием стресса засухи. Подбор засухоустойчивых генотипов адаптированных к дефициту орошения, не снижающих накопления белка, масла позволит минимизировать потери урожая, повысить рентабельность возделывания сои при наступлении неблагоприятных условий недостатка влаги.*

Ключевые слова: группа спелости сои, содержание протеина, содержание масла, урожайность, дефицит орошения, засуха.

Для цитирования: Ержебаева Р.С., Дидоренко С.В., Амангелдиева А.А., Мереева Т.Д. Влияние засухи на качество зерна сои в условиях юго-востока Казахстана. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2025; 2(54): 33-40. DOI: 10.24412/2309-348X-2025-2-33-40

INFLUENCE OF DROUGHT ON THE QUALITY OF SOYBEAN GRAIN IN THE CONDITIONS OF SOUTH-EAST OF KAZAKHSTAN

R.S. Yerzhebayeva, S.V. Didorenko, A.A. Amangeldiyeva, T.D. Mereeva

KAZAKH RESEARCH INSTITUTE OF AGRICULTURE AND PLANT GROWING
Almalybak v., Republic of Kazakhstan

Abstract: *Central Asia and Kazakhstan are at risk of drought and are particularly vulnerable to climate change. The main threats are associated with an arid climate and an increase in average annual temperatures. Water scarcity is a key abiotic factor affecting soybean yields. World soybean production is mainly aimed at obtaining vegetable protein and oil. In this regard, the aim of our study was to investigate the effect of drought stress on the protein and oil content of soybean seeds of different maturity groups in order to find genotypes that can minimize protein and oil losses under irrigation deficit in the conditions of southeastern Kazakhstan. In the conditions of southeastern Kazakhstan, 19 soybean genotypes of 5 soybean maturity groups were studied against contrasting backgrounds of irrigation and without irrigation. The studies were carried out over four years (2020-2023). In our studies, we noted that the protein content in the early maturity groups MG 00 (43.8-44.1%) and MG 0 (43.7-44.9%) was significantly higher than that of the MG II - MG III samples (39.3-41.3%), both under irrigation and in the drought experiment. It was found that in the experiment with irrigation deficit, the protein content on average for all maturity groups was significantly higher by 3% than under irrigation, and the oil content decreased by 3.1% compared to the experiment with irrigation. The study of the protein and oil content in soybean grain under drought conditions allowed us to record weak positive correlations between grain yield values and protein ($r = 0.12$) and oil ($r = 0.26$) content. Soybean genotypes with high protein (4) and oil (4) content were identified, which did not reduce their values under the influence of drought stress. Selection of drought-resistant genotypes adapted to irrigation deficit, not reducing protein and oil accumulation will minimize crop losses, increase the profitability of soybean cultivation when unfavorable conditions of insufficient irrigation occur.*

Keywords: soybean maturity group, protein content, oil content, yield, irrigation deficit, drought.

Введение

Соя [*Glycine max* (L.) Merr.] является четвертой ведущей сельскохозяйственной культурой в мире. Это важнейшая масличная и зернобобовая культура многоцелевого использования: кормового, пищевого, медицинского и технического [1]. Благодаря высокой урожайности, низкой потребности во внесении азотных удобрений за последние десятилетия она стала высокорентабельной для фермеров культурой и одной из ключевых культур в глобальной продовольственной безопасности [2]. Растущий мировой спрос привел к стремительному увеличению посевных площадей сои. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (<http://www.fao.org/faostat>) площадь выращивания сои в мире в 2023 г. составило 136,9 млн. га, а производство семян – 371,1 млн. тонн.

Высокобелковые сорта сои могут содержать 40-45% белка в сухом веществе и около 20% масла [3]. В широком распространении, адаптации к различным условиям выращивания и производстве такой белково-масличной культуры как соя ключевую роль играет селекция и семеноводство. Согласно исследованиям по оценке проблем засухи и моделей мониторинга засух в Центральной Азии EDCAP (2020 г.) регионы Центральной Азии и Казахстана находятся в зоне риска проблем засухи и являются особенно уязвимыми к изменению климата. В связи с этим для преодоления засухи необходимо вооружать производство засухоустойчивыми сортами [4]. Для формирования стратегии борьбы с засухой необходимо изучение различных генотипов и групп спелости сои в условиях стресса засухи Казахстана. Подбор засухоустойчивых генотипов адаптированных к дефициту орошения, не снижающих накопления белка, масла позволит минимизировать потери урожая, повысить рентабельность возделывания сои при наступлении неблагоприятных условий недостатка влаги.

Цель исследования – изучение влияния стресса, вызванного засухой, на содержание белка и масла в семенах сои различных групп спелости для поиска генотипов, способных минимизировать потери белка при дефиците влаги в условиях юго-востока Казахстана

Материал и методы исследований

Материалом исследований служили 19 засухоустойчивых сортов коллекции сои 5 групп спелости (MG 00, MG 0, MG I, MG II, MG III), выделенных по результатам испытания в период за 2018-2019 годы [5]. Перечень образцов, их вегетационный период и группы спелости представлены в табл. 1.

Опыт по испытанию сортов сои проведен на базе Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) в период за 2020-2023 гг. Полевой участок расположен в предгорной зоне юго-востока республики Казахстан (Алматинская область), на высоте 740 м над уровнем моря (географическое расположение 43°15' с. ш., 76°54' в. д.). Согласно классификации Кеппена климат Алматинской области – «Dfa», континентальный, с жарким летом. Среднегодовая температура составляет 6,5°C, а количество осадков за весь сезон – 891 мм. Почвы светло-каштановые, содержание общего гумуса в пахотном слое низкое в пределах 1,6-1,9%. Содержание глинистых частиц составляет 34,9%. Реакция почвенного раствора слабощелочная (рН =7,8).

Сумма осадков за вегетационный период сои апрель-сентябрь для каждого года за период 2020-2023 гг. составила 359,1, 210,4, 253,5 и 282,5 мм соответственно. По сравнению с многолетними наблюдениями (с 1991 по 2020 гг.) вегетационные периоды 2021 и 2022 годов были охарактеризованы как крайне засушливые.

Гидротермический коэффициент (ГТК) опытного участка, рассчитанный по уравнению Селянинова Г.Т. (1928) составил за вегетационный период сои май-сентябрь в среднем 0,66 (2020 год), 0,46 (2021 год), 0,66 (2022 год) и 0,68 (2023 год).

Опыты по изучению сортов коллекции сои проводили одновременно на двух участках с орошением и без орошения (засуха). Орошение проводили методом капельного полива. Капельная лента располагалась в ряду на расстоянии 15 см от растений. Расстояние между эмиттерами 20 см. Суммарное поступление влаги на гектар для орошаемого контрольного варианта составило 3636-5126 м³, для варианта без орошения (засуха) – 2100 -3590 м³.

19 сортов сои выращивали на делянках с площадью 5 м². Густота стояния 60 растений сои на 1 м². Испытание осуществляли в трехкратной повторности рандомизированно на участках с орошением и без орошения (засуха).

Оценка урожайности, элементов продуктивности образцов сои проведена согласно Методическим рекомендациям ВИР (Вишнякова М.А. с соавт., 2018).

Содержание белка и масла в семенах определяли с помощью спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне (БИК) (Wilox & Shibles, 2001) с использованием прибора FOSS Infratec 1241 в лаборатории биохимии и качества зерна КазНИИЗиР. Калибровка прибора по содержанию протеина выполнена по значениям стандартного метода Кьельдаля (ГОСТ 10846-91), а содержания масла по методу Сокслета (ГОСТ 10857-96).

Статистическая обработка данных проведена в программной среде JASP, версия 0.19.3.0. Проведен однофакторный дисперсионный анализ влияния факторов засухи, группы спелости, генотипа, условий года на содержание протеина и содержание масла образцов сои. Множественные попарные сравнения средних значений данных содержания протеина и масла между группами с различной спелостью сои выполнены с использованием специализированного параметрического post hoc теста Тьюки. Для определения линейной связи между всеми количественными показателями опыта проведена оценка критериев корреляции Пирсона.

Результаты и их обсуждение

В связи с тем, что соя возделывается преимущественно ради получения растительного белка и масла наше исследование направлено на оценку урожайности зерна различных сортов сои с учётом их потенциала по содержанию белка и масла в условиях водного дефицита.

Урожайность образцов сои различных групп спелости на орошении (контрольный вариант) находилась в пределах 1,9-6,7 т/га. На участках засухи урожайность была в пределах 0,8-2,5 т/га (таблица 1). Под воздействием стресса засухи произошло значительное снижение урожайности зерна – от 45,5 до 69,5% по сравнению с контрольным вариантом. По средней урожайности за четыре года испытаний лучшие результаты показали следующие сорта: в группе MG III – Спонсор (2,5 т/га), в группе MG II – Зен (2,3 т/га), в группе MG I – Вилана (1,8 т/га), в группе MG 0 – Устя (1,3 т/га), в группе MG 00 – Ивушка (1,2 т/га) (табл. 1).

Урожайность и качество зерна 19 сортов сои, испытанных в условиях юго-востока республики Казахстан (средние значения 2020-2023 гг.)

Наименование	Страна-происхождения	Группа спелости	Урожайность, т/га		Содержание протеина, %		Содержание масла, %	
			Орошение	Засуха	Орошение	Засуха	Орошение	Засуха
Северное сияние	Казахстан	MG 00	2,5±0,4	1,0±0,3	41,0±0,8	42,3±0,9	17,1±0,7	15,8±0,8
Красивая Меча	Россия		2,3±0,7	1,0±0,6	44,9±1,1	44,5±2,3	20,8±0,6	18,8±1,5
Ивушка	Казахстан		2,2±0,5	1,2±0,7	45,4±2,6	45,6±2,4	18,6±1,4	17,7±1,3
Данелия	Казахстан	MG0	1,9±0,9	0,8±0,4	44,5±3,0	45,3±2,1	19,0±1,6	18,5±2,0
Устя	Украина		3,0±0,6	1,3±0,7	44,1±1,9	44,8±2,2	20,1±2,0	20,0±1,8
Припять	Беларусь		3,1±0,9	1,2±0,6	43,7±2,1	45,1±1,8	20,2±1,5	19,1±1,9
Спритна	Украина		2,3±0,5	0,9±0,4	41,8±1,0	44,5±1,8	18,6±1,6	17,6±1,3
Десна	Украина	MGI	3,6±0,6	1,5±0,9	40,4±1,6	41,2±1,5	21,1±1,5	21,0±1,9
Черемош	Украина		4±0,8	1,7±0,7	43,4±2,5	45,1±2,2	19,5±1,8	19,4±1,6
Вилана	Россия		4±0,9	1,8±0,7	40,7±1,4	41,6±1,2	20,8±1,4	20,1±1,7
Ксин-Джианг 11-252	Китай		4,4±0,7	1,7±0,8	38,3±1,3	41,4±1,5	21,2±1,6	20,2±1,2
Скытнея	Молдова	MGII	3,9±0,6	1,6±0,6	40,9±1,5	42,0±1,5	21,0±0,7	20,6±1,5
Гибридная - 670	Казахстан		4,1±0,5	1,9±0,8	39,5±1,6	41,1±1,6	22,0±0,9	21,3±1,0
Жансая	Казахстан		4,8±0,7	2±0,8	40,0±1,4	41,7±1,2	21,1±1,1	20,3±1,6
Зен	Швейцария		5,7±0,5	2,3±0,9	39,2±1,1	40,4±1,2	21,4±0,6	20,3±0,8
Букурия	Молдова	MG III	4,8±0,9	2,1±0,9	38,1±1,6	38,4±1,1	20,7	20,7±1,2
Спонсор	Франция		6,7±0,8	2,5±0,9	37,8±1,8	39,5±1,3	20,9±1,5	21,0±1,3
Нин-жен-1	Китай		4,4±0,7	1,5±0,6	42,6±1,6	44,1±1,4	17,4±0,7	16,9±1,5
Цзи-ти-4	Китай		3,2±1,1	1,5±0,7	38,8±1,1	40,4±1,5	20,5±1,6	20,9±1,1
Сред. значение			3,7	1,6	41,3	42,6	20,1	19,5
НСР _{0,05}			0,49	0,21				

Нами было изучено влияние четырех факторов (засуха, группа спелости, генотип, условия года) на такие параметры качества зерна как содержание протеина и масла. Установлено, что на содержание белка достоверно значимое влияние оказывают условия года ($F=49,3$) и группа спелости ($F=53,2$). Следующим по значимости является фактор генотипа/сорта ($F=28,8$). Стресс, вызванный засухой, оказывает так же достоверно значимое воздействие ($F=19,2$) на содержание белка, но в меньшей степени, чем другие признаки, табл. 2.

Таблица 2

Дисперсионный анализ влияния факторов засухи, группы спелости, условий года и генотипа на признаки качества зерна сои

Признак	F-критерий Фишера			
	Засуха/ drought	Группа спелости	Генотип	Год
Содержание белка	19,2***	53,2***	28,8***	49,3***
Содержание масла	9,6**	29,2***	18,6***	69,3***

Примечание: ** и *** обозначают уровни значимости при $p<0,01$, $p<0,001$ соответственно

Такую же тенденцию мы наблюдаем по признаку содержание масла. Наиболее высокая значимость отмечена по фактору условия года ($F=69,3$) и группа спелости ($F=29,2$), а наименьший, по фактору «засуха» ($F=9,6$), табл. 2.

Соя является одним из самых богатых источников растительного белка, отличающимся высоким содержанием незаменимых аминокислот, приближаясь по аминокислотному составу к животным белкам. В наших исследованиях мы отметили, что содержание белка в ранних группах спелости MG 00 (43,8-44,1%) и MG 0 (43,7-44,9%) достоверно выше, чем у образцов MG II - MG III (39,3-41,3%), как на орошении, так и в опыте на засухе (табл. 3). Эти данные согласуются с результатами исследований обширной коллекции сои ВИР (1442 образцов) различных групп спелости в условиях Северного Кавказа [6] и данными многолетнего изучения коллекционных и селекционных образцов сои (1650 образцов) в условиях Казахстана [7].

Выделены генотипы с высоким содержанием белка на орошении и не снижающие его содержание под воздействием стресса засухи: Ивушка (45,4% / 45,6%), Данелия (44,5% / 45,3%), Красивая Меча (44,9% / 44,5%), Устя (44,1% / 44,8%) соответственно.

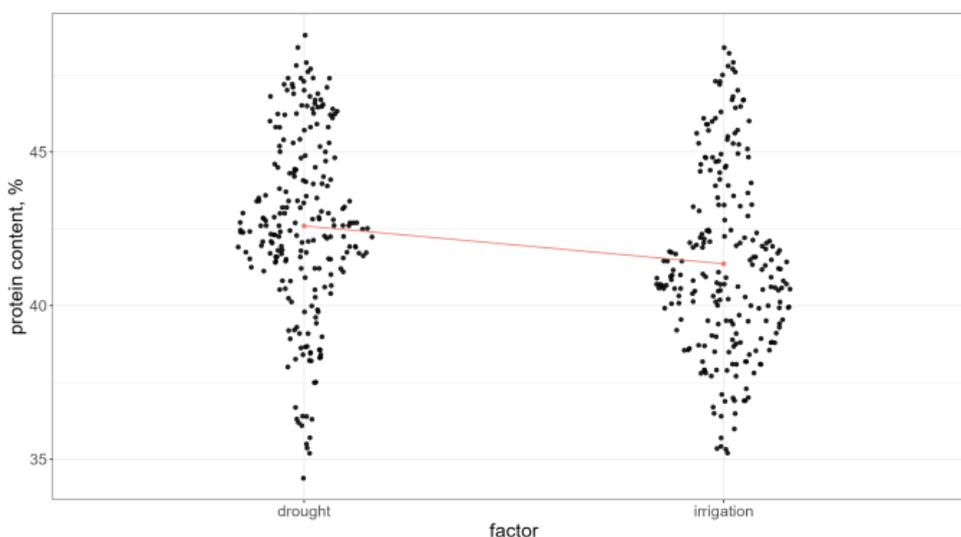
Таблица 3

Сравнительный анализ качества зерна сои, различных групп спелости в условиях орошения и засухи

Группы спелости	Содержание белка, %		Содержание масла, %	
	Орошение	Засуха	Орошение	Засуха
MG 00	43,8 а	44,1 а	18,8 а	17,8 а
MG 0	43,7 а	44,9 а	19,5 аб	18,8 а
MG I	40,7 б	42,3 аб	20,7 б	20,2 б
MG II	39,9 б	41,3 б	21,4 б	20,6 б
MG III	39,3 б	40,6 б	19,9 б	19,9 б

Примечание: значения, за которыми следуют одинаковые буквы, не имеют существенных различий при вероятности $p < 0,05$.

Установлено, что в опыте с дефицитом орошения (засуха) содержание белка в среднем по всем группам спелости было достоверно выше на 3% ($F=19.2$, $p < 0,001$), чем на орошении (рис. 1, табл. 3). Результаты наших исследований согласуются с данными Rotundo J. L., 2009 который обнаружил, что водный стресс во время налива семян сои увеличил содержание белка, опытами Poudel S. [8], который зафиксировал увеличение содержания протеина на 8% при стрессе засухи по сравнению с контролем и опытами Cohen I. [9], который показал, что засуха и жара в сочетании приводят к высокому содержанию белка в семенах, обеспечивая преимущество бобовых перед злаками в переносимости этих стрессоров.



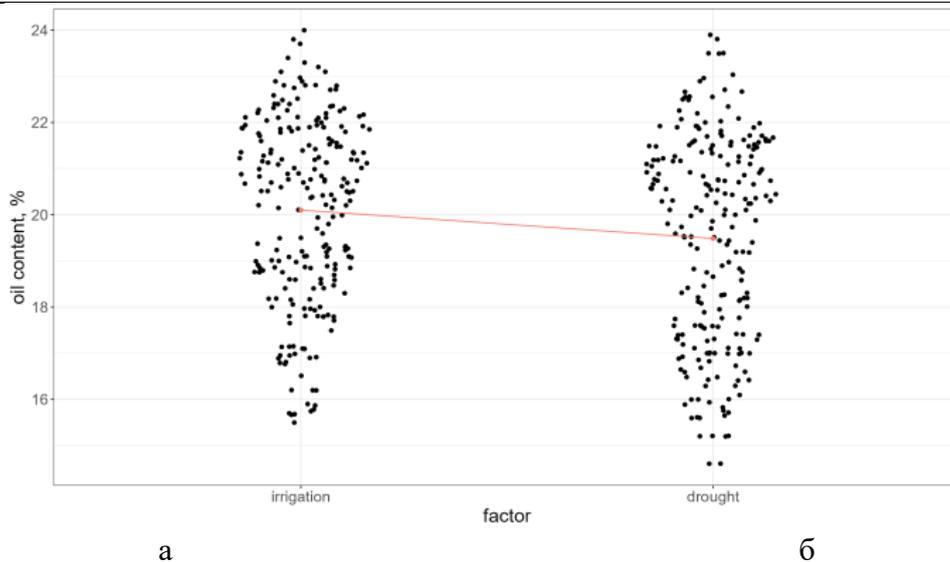


Рис. 1. Содержание протеина (а) и масла (б) сои различных групп спелости, протестированные в двух условиях: с орошением и без орошения (засуха)

Масло имеет большое значение для соевой промышленности из-за его высокой экономической ценности как источника пищевого масла и основного возобновляемого сырья для производства биодизеля [10]. В наших исследованиях установлено, что в опыте на засухе содержание масла снизилось на 3,1% ($F=9.6$, $p < 0,01$), по сравнению с опытом на орошении (рис. 1, табл. 3). Полученные данные согласуются с предыдущими исследованиями. В опытах Poudel J.L. [8], в среднем содержание масла снизилось на 11% при стрессе засухи по сравнению с контролем. Однако есть и данные по опытам в условиях США Миссисипи [10] в которых наблюдалось значительное увеличение содержания масла при дефиците воды, или, другими словами, более высокое содержание масла наблюдалось при низком содержании влаги в почве.

Выделены генотипы с высоким содержанием масла на орошении и не значительно снижающие его содержание под воздействием стресса засухи: Гибридная 670 (22,0% / 21,3), Зен (21,4% / 20,3%), Жансая (21,1% / 20,3%), Скытнея (21,0% / 20,6) соответственно.

Корреляционный анализ Пирсона для определения линейной связи между всеми количественными показателями урожайности опыта и показателями качества зерна проведен с данными сои, выращенными в условиях засухи. В условиях засухи зафиксированы слабые положительные корреляции урожайности зерна с содержанием белка ($r=0,12$, $p < 0,01$) и масла ($r=0,26$, $p < 0,01$), (табл. 4). Положительная корреляция урожайности и качества зерна не согласуется с данными большинства исследователей, которые фиксировали отрицательную корреляцию. Однако есть значительное количество исследований, подтверждающих положительную корреляцию [4, 11]. Данные исследования показывают возможность отбора уникальных генотипов, не снижающих урожайность и содержание белка в условиях дефицита орошения.

Таблица 4

Корреляционный анализ признаков продуктивности и качества зерна сои, выращенных в условиях засухи

Признак	Урожайность	Масса зерна с растения	Масса 1000 зерен	Содержание протеина
Урожайность	-			
Масса зерна с растения	0,37***	-		
Масса 1000 зерен	0,33***	0,35***	-	
Содержание протеина	0,12***	-0,27***	0,09 ^{нс}	-
Содержание масла	0,26***	0,09 ^{нс}	0,06 ^{нс}	-0,10 ^{нс}

Примечание: *** - уровень значимости при $p < 0,001$, «нс» - незначительная значимость

Проведен анализ влияния генотипа, условий засухи (отсутствие орошения) и их генотип-средовых взаимодействий на признаки качества зерна (табл. 5). Для признака содержание протеина она составила 0,55, для содержания масла 0,46. Это объясняется тем, что в опыте были использованы сорта 5 групп спелости. В данной статье мы указали, что скороспелые генотипы сои имеют более высокое содержание белка, чем позднеспелая группа, но более низкое содержание масла. Различие содержания белка и масла в семенах сортов разных групп спелости ученые объясняют особенностями метаболизма семян [6]. Согласно данным Кочегура А.В. (2005) синтез белков в семенах сои начинается на 10-15 суток раньше, чем накопление жирных кислот. У скороспелых сортов период налива семян укорочен, и запасающие ткани семядолей, как правило, успевают накопить белок, но не полностью реализовать свой масляный потенциал, что определяет меньшее накопление масла и, соответственно, большую долю белка в семенах. Сорта поздних сроков созревания наливаются в условиях благоприятных для накопления масла, поэтому содержание масла оказывается наиболее высоким, пропорционально несколько сокращается содержание белка.

По результатам генотип-средовых взаимодействий отмечен так же высокий эффект (η^2) условий года, который для содержания протеина составили 0,24, а для содержания масла 0,30. Высокое влияние погодных условий подтверждается и другими исследователями [12]. Фактор засухи (отсутствие орошения) не имел значительного влияния. Взаимодействия «Засуха/Год», «Засуха/Генотип» и «Засуха/Год/Генотип» были значительно ниже по сравнению с индивидуально изученными факторами «Генотип» и «Год» (табл. 5).

Таблица 5

**Генотип-средовые взаимодействия признаков качества зерна сои
(η^2 - оценка размера эффекта)**

Фактор	Содержание протеина		Содержание масла	
	F	η^2	F	η^2
Год	486,6***	0,24	579,4***	0,30
Генотип	187,5***	0,55	146,4***	0,46
Засуха	239,4***	0,04	115,3***	0,02
Год * Генотип	8,2***	0,07	12,6***	0,12
Засуха * Год	13,5***	0,01	7,0***	0,004
Засуха * Генотип	6,1***	0,02	5,2***	0,02
Засуха * Год * Генотип	3,1***	0,03	3,0***	0,03

Примечание: *** - уровень значимости при $p < 0,001$

Заключение

Выделены генотипы с высоким содержанием белка на орошении и не снижающие его содержание под воздействием стресса засухи: Ивушка (45,4% / 45,6%), Данелия (44,5% / 45,3%), Красивая Меча (44,9% / 44,5%), Устя (44,1% / 44,8%) соответственно.

Выделены генотипы с высоким содержанием масла на орошении и не значительно снижающие его содержание под воздействием стресса засухи: Гибридная 670 (22,0% / 21,3), Зен (21,4% / 20,3%), Жансая (21,1% / 20,3%), Скытнея (21,0% / 20,6) соответственно.

Выявленные засухоустойчивые генотипы адаптированы к дефициту орошения в условиях юго-востока республики Казахстан. Их использование позволит минимизировать потери урожая, повысить рентабельность возделывания сои при наступлении неблагоприятных условий недостатка орошения.

Установлено, что содержание белка в ранних группах спелости MG 00 (43,8-44,1%) и MG 0 (43,7-44,9%) достоверно выше, чем у образцов MG II - MG III (39,3-41,3%), как на орошении, так и в опыте на засухе.

Установлено, что в опыте с дефицитом орошения (засуха) содержание белка в среднем по всем группам спелости было достоверно выше на 3% ($F=19.2$), чем на орошении, а содержание масла снизилось на 3,1% ($F=9.6$), по сравнению с опытом на орошении.

Изучение содержания протеина и масла в зерне сои в условиях засухи позволили зафиксировать слабые положительные корреляции значений урожайности зерна с содержанием белка ($r=0,12$) и масла ($r=0,26$).

Работа выполнена в рамках 217 бюджетной программы «Развитие науки», подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований» Министерства высшего образования и науки по проекту ИРН АР19677163 «Разработка SNP-маркеров по признаку засухоустойчивости на основе полногеномного анализа ассоциаций (GWAS) для применения в маркер-опосредованной селекции сои (Glycine max L.).»

Литература/References

- 1 Chen K.I., Erh M.H., Su N.W., Liu W.H., Chou C.C., Cheng, K.C. Soyfoods and soybean products: from traditional use to modern applications. // *Appl Microbiol Biotechnol.* – 2012. – Vol. 96. – P. 9–22. Doi: 10.1007/s00253-012-4330-7
- 2 Hartman G.L., West E.D., Herman T.K. Crops that feed the World 2. Soybean—worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. // *Food Sec.* – 2011. – Vol. 3. - P. 5-17. Doi.org/10.1007/s12571-010-0108-x
- 3 Medic J., Atkinson C. Hurburgh C.R. Current Knowledge in Soybean Composition // *J Am Oil Chem Soc.* – 2014. - Vol.91. - P.363–384. <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2407-9>
- 4 Tolokonnikov V.V., Trunova M.V., Koshkarova T.S., Saenko G.M., Vronskaya L.V. The models of soybean varieties adapted to dry conditions // *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.* - 2021. - Vol. 843, No. 1. – P. 012013. Doi: 10.1088/1755-1315/843/1/012013
- 5 Yerzhebayeva R., Didorenko S., Bastaubayeva S., Amangeldiyeva A., Maikotov B., Kassenov R., Shavrukov Y. Soybean Drought Tolerance and Escape: Field Trial Assessment of Yield, Maturity Groups and Smooth-Wrinkled Seed Coats in Kazakhstan // *Agriculture.* -2024. - Vol. 14(11). - P. 1884 <https://doi.org/10.3390/agriculture14111884>
- 6 Новикова Л.Ю., Сеферова И.В., Некрасов А.Ю., Перчук И.Н., Шеленга Т.В., Самсонова М.Г., & Вишнякова М. А. Влияние погодно-климатических условий на содержание белка и масла в семенах сои на Северном Кавказе. // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* – 2018. – Т. 22(6). – С.708-715. DOI 10.18699/VJ18.414 (Novikova, L.Yu., Seferova, I.V., Nekrasov, A.YU., Perchuk, I.N., Shelenga, T.V., Samsonova, M.G., Vishnyakova, M.A. World Collection of Legume Genetic Resources VIR: replenishment, conservation and study. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii.* 2018, no. 22(6), pp.708-715. DOI 10.18699/VJ18.414 (In Russian)
- 7 Didorenko S.V., Abugaliyeva A.I., Yerzhebayeva R.S., Plotnikov V.G., Ageyepko A.V. Monitoring quality and yield capacity of soybean varieties during the creation of various ecotypes in Kazakhstan. // *AGRIVITA Journal of Agricultural Science.* - 2021. – Vol 43(3). – P. 558–568. <https://doi.org/10.17503/agrivita.v43i3.2799>
- 8 Poudel S., Vennam R.R., Sankarapillai L.V., Liu J., Reddy K.R., Wijewardane N.K., Bheemanahall R. Negative synergistic effects of drought and heat during flowering and seed setting in soybean. // *Environmental and Experimental Botany.* - 2024. – Vol. 222, <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105769>
- 9 Cohen I., Zandalinas S.I., Fritschi F.B., Sengupta S., Fichman Y., Azad R. K., Mittler R. The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. // *Physiologia Plantarum.* - 2021. – Vol.172(1). – P. 41-52.
- 10 Wijewardana C., Reddy K. R., Bellaloui N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. // *Food Chemistry.* - 2019. – Vol. 278. - P. 92-100 <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.035>
- 11 Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Перспективы селекции высокобелковых сортов сои: моделирование механизмов увеличения белка в семенах (сообщение 1). // *Масличные культуры.* – 2016. – № 2 (166). – С. 34-41. (Zelentsov S. V., Moshnenko E. V. Prospects for breeding high-protein soybean varieties: modeling mechanisms for increasing seed protein (message 1). *Maslichnye kul'tury*, 2016, no.2 (166), pp. 34-41. (In Russian)
- 12 Юсова О.А., Асанов А.М., Омелянюк Л.В. Урожайность и качество зерна сортов сои селекции Сибирского НИИСХ в условиях южной лесостепи Западной Сибири. // *Масличные культуры.* – 2017. – № 4 (172). – С. 18-24. (Yusova, O.A., Asanov, A.M., Omel'yanuk, L.V. Productivity and grain quality of soybean varieties bred by the Siberian Research Institute of Agriculture in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Maslichnye kul'tury*, 2017, no. 4 (172), pp. 18-24. (In Russian)