

**Амангелдиева А.А.^{1,2}, Даниярова А.К.¹, Альчимбаева П.А.¹,
Анапияев Б.Б.², Дидоренко С.В.¹, Ержебаева Р.С.¹**

¹ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства»,

Казахстан, п. Алмалыбак, e-mail: seidinabieva_aigul@mail.ru

²НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева», Казахстан, г. Алматы

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ СОИ ПО АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИМ И ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТИ

Для большого разнообразия почвенно-климатических условий Казахстана требуются сорта сои, устойчивые к различным стрессам, и прежде всего сорта, устойчивые к засухе. Необходимым условием эффективной селекции на засухоустойчивость является правильная оценка засухоустойчивости. Использование физиологических, анатомо-морфологических и биохимических признаков засухоустойчивости в совокупности с оценкой урожайности семян при засухе позволяет проводить более достоверную оценку. Целенаправленное использование комплекса фенотипических маркеров позволит селекционерам отобрать из коллекции ценные генотипы сои, которые могут быть использованы в различных схемах скрещиваний по созданию продуктивных и засухоустойчивых форм. В работе оценена коллекция сои с использованием анатомо-морфологических и физиолого-биохимических методов оценки засухоустойчивости в контрастных условиях орошения и богары (не поливной участок) научного стационара КазНИИЗиР в фазу налива бобов и яркого проявления недостатка влаги. Выделены образцы по высокой опушенности, хорошо развитому устьичному аппарату, интенсивному накоплению пролина, повышенному уровню квантового выхода фотосистемы (QY). Выделены 3 сорта – Гессенска, Кыз-шуан, Комет как засухоустойчивые по двум и трем фенотипическим маркерам засухоустойчивости. Продемонстрирована возможность использования современного флуориметра для оценки физиологического состояния растений, в период стресса, вызванного засухой. Образцы, выделенные как засухоустойчивые, будут использованы в гибридизации для создания ценных гибридных популяций и в дальнейшем отечественных засухоустойчивых сортов, адаптированных к условиям безполивного земледелия РК.

Ключевые слова: соя, засухоустойчивость, признак, ксероморфизм, опушенность, свободный пролин, устьице, квантовый выход фотосистемы.

Amangeldiyeva A.A.^{1,2}, Daniyarova A.K.¹, Alchimbaeva P.A.¹,
Anapiyayev B.B.¹, Didorenko S.V.¹, Erzhebaiyeva R.S.¹

¹LLC "Kazakh scientific research institute of agriculture and plant growing",
Kazakhstan, Almalybak village, e-mail: seidinabieva_aigul@mail.ru

²K.I. Satpaev Kazakh national technical research university, Kazakhstan, Almaty

Assessment of soybean collection samples by anatomical, morphological, physiological and biochemical characteristics of drought tolerance

Soybean varieties, resistant to various stresses, and especially varieties resistant to drought, are required for a wide variety of soil and climatic conditions of Kazakhstan. A necessary condition for effective selection for drought resistance is the correct assessment of drought resistance. Together with the assessment of seed yield in drought, the use of physiological, anatomical, morphological and biochemical traits of drought resistance allows to conduct more comprehensive assessment. The targeted use of phe-

notypic markers will allow the breeders to select valuable soybean genotypes from the collection, which can be used in various crossbreeding schemes to develop productive and drought-resistant forms. In this article, soybean collections were assessed using anatomic-morphological and physiological-biochemical methods for the drought tolerance assessment by contrasting conditions of irrigation and nonirrigated in scientific field station of KazSRIA&PG during the phase of bean filling and striking manifestations of moisture deficiency. Samples were identified according to high pubescence, well-developed stomatal apparatus, intensive proline accumulation, elevated level of the quantum yield of the photosystem (QY). 3 varieties such as Gessenska, Kye-Shuang, Comet were identified as drought-resistant types by two and three phenotypic markers of drought resistance. The possibility of using a modern fluorometer to assess the physiological state of plants during periods of stress caused by drought was demonstrated. The samples selected as drought-resistant will be used in hybridization to develop valuable hybrid populations and further domestic drought-resistant varieties adapted to conditions non-irrigated agriculture of Kazakhstan.

Key words: soybean, drought tolerance, trait, xeromorphism, pubescence, free proline, stomata, quantum yield of the photosystem.

Амангелдиева А.А.^{1,2}, Даниярова А.К.¹, Альчимбаева П.А.¹,
Анапияев Б.Б.², Дидоренко С.В.¹, Ержебаева Р.С.¹

¹«Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ғылыми зерттеу институты» ЖШС,
Қазақстан, Алматы аул., e-mail: seidinabieva_aigul@mail.ru

²«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті», Қазақстан, Алматы қ.

Қытайбұршақтың коллекциялық үлгілерін анатомо-морфологиялық, физиологиялық, биохимиялық белгілері бойынша құрғақшылыққа төзімділігін бағалау

Қазақстанның топырақ-климаттық жағдайларының алуан түрлілігі үшін әртүрлі стресстерге төзімді соя сорттары қажет, ең алдымен құрғақшылыққа төзімді сорттар. Құрғақшылыққа төзімді селекцияның ең негізгі қажетті шарты құрғақшылыққа төзімділікті дұрыс бағалау болып табылады. Физиологиялық, анатомо-морфологиялық және биохимиялық белгілері бойынша құрғақшылыққа төзімділікті және тұқымдардың құрғақшылыққа төзімділігін бағалауды бірге қолдану кешенді бағалауды жүргізуге мүмкіндік береді. Селекционерлердің мақсатты түрде фенотиптік маркерлерді пайдалануы коллекциядан бағалы қытайбұршақ генотиптерін анықтауға, өнімділігі жоғары, құрғақшылыққа төзімді әр түрлі бағыттағы будандастыру жүргізу кезінде қолданылуы мүмкін. Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ҒЗИ-дың ғылыми далалық стационарында сұғарылатын және сұғарылмайтын аймақта бұршаққаптың толықсу кезеңіне, ылғалдың жетіспеушілігіне, қытайбұршақтың коллекциялық үлгілерінің анатомо-морфологиялық және физиологиялық, биохимиялық белгілері бойынша құрғақшылыққа төзімділігін бағалау бойынша жұмыстар жүргізілді. Жоғарғы түктілік, жақсы дамыған саңылау аппараты, пролиннің қарқынды жиналуы, фотосистеманың кванттық шығуының жоғарғы деңгейі (QY) бойынша үлгілер бөлінген. Екі және үш фенотиптік маркерлер бойынша қуаңшылыққа төзімді 3 сорт – Гессенска, Кыэ-шуан, Комет анықталды. Құрғақшылықтан туған күйзеліс жағдайында өсімдіктердің физиологиялық жағдайын бағалау үшін заманауи флуориметрді пайдалану мүмкіндігі көрсетілген. Құрғақшылыққа төзімді ретінде бөлінген үлгілер бағалы гибридті популяцияларды құру үшін және одан әрі ҚР сұғарылмайтын егіншілік жағдайына бейімделген отандық құрғақшылыққа төзімді сорттарды будандастыруда пайдаланылатын болады.

Түйін сөздер: қытайбұршақ, құрғақшылыққа төзімділік, белгі, ксерморфизм, түктілік, бос пролин, саңылау, фотосистеманың кванттық шығуы.

Сокращения и обозначения

КазНИИЗиР – Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства, РК – Республика Казахстан, ФАО – Продовольственная и сельскохозяйственная организация, °С – градус Цельсия, % – процент, мл – миллилитр, мг – миллиграмм, мм – миллиметр, нм – нанометр, м³/га – метр куб на гектар, шт – штук

Введение

Соя относится к роду *Glicine*, семейству *Leguminosae*, подсемейству *Papilionoideae* [1]. Она входит в первую десятку наиболее широко выращиваемых культур в мире. Общее производство сои составило 334,8 миллионов тонн в 2016 году (данные ФАО). Площадь возделывания сои занимает больше чем 120 миллионов гектаров во всем мире, основная

доля, которой приходится на США, Бразилию и Аргентину (данные ФАО) (Статистические данные продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций [2].

Для роста, развития и размножения растений требуется достаточно большое количество воды. Приблизительно, 1/3 часть земли относится к засушливым и полусушливым, при этом периодически неожиданные климатические изменения (засуха) часто создают неблагоприятные условия для сельскохозяйственных насаждений. Дефицит воды может быть смертельным для растений и привести к огромным социальным проблемам и экономическим потерям. Развитие современной науки и техники, значительно увеличила наши возможности в изучении природных ресурсов, которые улучшает человеческую жизнь, с другой стороны, постоянно растущее население мира, обширное загрязнение воды и непредсказуемое изменение климата, еще больше усугубляет проблему дефицита воды [3]. Подсчитано, что общее глобальное потребление воды утроилось за последние 50 лет по данным организации Национального доклада о развитии водных ресурсов [4].

Как растение муссонного климата соя на формирование урожая расходует значительное количество воды. Общий расход воды посевом сои за вегетацию может достигать 5 – 6, а иногда и свыше 7 тысяч м³/га [5]. Наиболее интенсивное водопотребление у сои происходит в фазах цветения, формирования и налива бобов [6]. В исследованиях по влиянию засухи на урожайность семян в различные фазы роста сои было установлено, что наиболее высокий урон наносит воздействие стресса недостатка воды в период развития семян сои (R5-R7), которое приводит к снижению урожайности на 45 – 88% [7, 8].

В современном представлении соя является относительно засухоустойчивой культурой. В начальные периоды развития она может относительно легко переносить дефицит влаги, но в период наиболее интенсивного водопотребления, а также в фазу налива бобов при недостаточном водопотреблении ежегодно теряется 60 – 70 кг/га урожая семян сои [9].

При обширном возделывании сельскохозяйственных культур вода является основным лимитирующим абиотическим фактором, глобально влияющим на урожайность. Полевые исследования и испытания в моделируемых условиях засухи в теплице показали, что засуха привела к значительному сокращению количества выхода

семян (24 ~ 50%) большинства сельскохозяйственных культур [10, 11].

Растения сои используют различные механизмы для борьбы с засухой, которые регулируются сочетанием различных факторов [12].

Ответ растения на засуху очень сложен и включает в себя взаимодействие между различными молекулярными, биохимическими и физиологическими процессами. Одним из таких ответов является стремление растения поддерживать высокий уровень воды в период стресса. Вырабатываются адаптивные приспособления, включающие высокую водопоглощающую способность корней, формирование более длинного стержневого корня, который помогает достичь нижних слоев грунта, снижение испаряемости от надземных органов при формировании листьев меньшего размера, высокая эффективность транспирации, регулировка частичного закрытия устьиц, наличие опушения, которое защищает лист от перегрева и интенсивной солнечной радиации.

Другим механизмом засухоустойчивости, является поддержание тургора и обмена веществ даже при низком водопотреблении, например через протоплазматическую толерантность и синтез осмолитов [13, 14].

Целью нашего исследования являлась оценка коллекционных образцов сои по морфологическим, физиологическим и биохимическим маркерам засухоустойчивости для выделения засухоустойчивых образцов в качестве источников для целенаправленных скрещиваний.

Материал и методика исследований

Материалом исследований служили 30 сортов коллекции сои (*Glycine max L.*) отечественной и зарубежной селекции, подобранных по литературным источникам как засухоустойчивые и выписанные из мировой коллекции Всероссийского НИИ Растениеводства им. Н.И. Вавилова.

Был заложен опыт по выращиванию изучаемых сортов на научном полевом стационаре зернобобовых культур Казахского НИИ земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) на двух стационарах – орошаемый и богарный (не поливной участок). Делянки при изучении коллекции размером 1 погонный метр, по 25 семян. Посев рандомизированный в трехкратной повторности. Вегетационные поливы на поливном стационаре осуществлялись трижды (в третьей декаде июня, второй декаде июля и второй декаде августа). На богарном стационаре не производился.

Растительные образцы для анатомического и биохимического исследования были отобраны в период, когда растения находились в генеративном возрастном состоянии R4 (фаза образования бобов) и яркого проявления недостатка влаги (июль-август).

Учитывая сильную фенотипическую вариабельность структуры и функциональной активности листа, для анатомических исследований были выбраны типичные фенотипы из опыта. Все наблюдения выполняли на листьях среднего яруса завершивших рост и дифференцировку. По каждому сорту проанализировано по 5 листьев с разных растений. Были приготовлены анатомические препараты нижнего эпидермиса листа – методом «реплик». При подсчете устьиц и волосков использовали не менее 10-ти полей зрения микроскопа. Опушенность листьев оценивали при увеличении $\times 100$, оценку количества устьичных отверстий на единицу листовой поверхности при увеличении $\times 1000$ на Микроскопе Meiji Techno серии MT4000 (*Japan*). При изготовлении и описании препаратов использовались общепринятые в анатомии растений методики [15].

Количественный метод определения содержания пролина в листьях сои определяли по методу Bates et. al. (1973) [16]. К 0,5 грамм сырой зеленой массы приливали 10 мл 3% раствора сульфосалициловой кислоты $[\text{HO} \cdot \text{C}_6\text{H}_2(\text{SO}_3\text{H}) \cdot \text{COOH}]$ и растирали в ступке до однородной массы. Гомогенат фильтровали через плотный фильтр. К 2 мл фильтрата добавляли 2 мл реагента (1,25 нингидрина, растворенного в смеси 30 мл ледяной уксусной кислоты ± 20 мл 6М фосфорной кислоты) и 2 мл ледяной уксусной кислоты, тщательно перемешивали, помещали на водяную баню (100%) на 1 час, а затем охлаждали до $+4^\circ\text{C}$. К реакционной смеси добавили 4 мл толуола. Краситель переходит в верхний слой толуола и окрашивание его будет в зависимости концентрации пролина, слабо-разового до пурпурного. Интенсивность окраски определяли на светофильтре при 520 нм (светофильтр №4-синий) в 5 мм кюветах, в сравнение с толуолом. Содержание пролина определяли по калибровочной кривой, построенной по содержанию пролина в 2 мл от 0,0215 до 0,175 мг.

Оценка физиологического состояния растений сои на поливном и не поливном стационарах была проведена с использованием флуоресцентного анализа на импульсно-модулированном приборе серии FluorPen 100. По каждому сорту проанализировано по 3 листа с разных растений.

Были произведены измерения среднего значения QY (квантовый выход – параметр, определяющий эффективность работы фотосистемы) растений сои на орошаемом и богарном участках. Измерения проводили каждые 10 дней в период яркого проявления недостатка влаги (июль-август) [17].

Статистическая обработка выполнена с использованием программы *Statistica 10 (Professional)*. Проведен Basic statistics анализ с использованием графической статистики для наглядного изображения основных характеристик выборки Graph Type Box-Whiskers.

Результаты исследований

Морфологические и физиологические приспособления листьев к стрессу засухи позволяют уменьшить потерю воды и повысить эффективность ее использования. При сильном дефиците воды листья растений теряют свою упругость, становятся мягкими, это явление называется увяданием [18].

Одним из морфологических приспособлений листьев к борьбе с засухой является плотное опушение листа. Опушение листа это общая особенность ксерофитных растений, а также некоторых сельскохозяйственных культур, в том числе сои. Волоски создают экран, защищающий листья от перегрева [19].

Для оценки присутствия признаков ксероморфизма у сортов сои все образцы были оценены по степени опушенности. Оценка опушенности листьев сортов сои показала, что в поле зрения микроскопа при увеличении 10×10 насчитывается в среднем на образцах собранных с орошаемого опытного участка от 4,55 до 16,45 штук волосков, на образцах собранных с богарного участка 4,33 -19,22 штук волосков (рисунок 1г, таблица 1). Наибольшее опушение 19,22 штук волосков отмечено на листьях сорта Нхат 10, собранных с богарного участка. При значении этого признака на листьях поливного фона 9,33 штук. По высокой опушенности листьев в условиях засухи выделены образцы из коллекции: Нхат 10 (19,22 шт), Кыэ-шуан (18,6 шт), Ситора (16,33 шт).

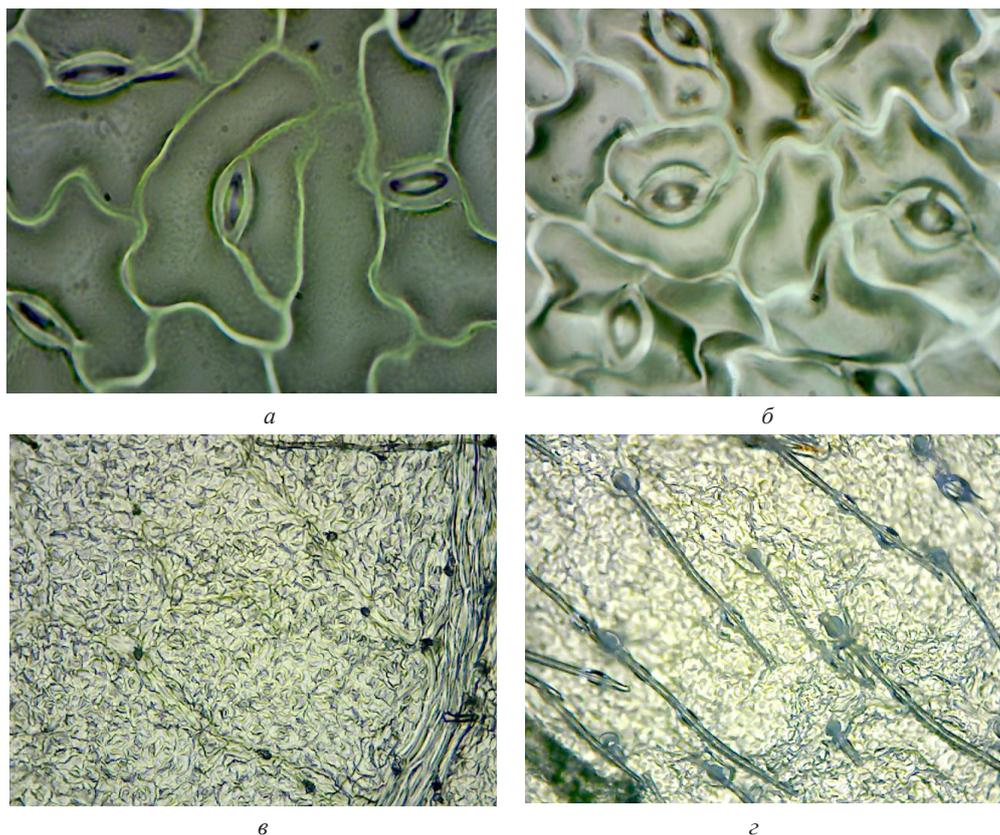
Отмечены 2 образца без опушения листьев (0 шт волосков): Ичийо Гавари, Схимизу 1-8-1 (рисунок 1в).

Вторым не менее важным признаком высокотранспирирующих тонколистных ксерофитов является большое количество устьиц и сеть жилок. В связи с этим, была проведена оценка со-

ртов по количеству устьичных отверстий на единицу листовой поверхности. Результаты оценки количества устьиц в поле зрения микроскопа при увеличении на $\times 1000$ показали, что в среднем они колебались у разных генотипов сои в пределах 6,67 – 14,67 штук на орошении и 6,65-18,0 штук на засухе (рисунок 1 а,б). Выделены образцы с большим количеством устьиц на еди-

ницу поверхности в условиях засухи – Кыэ-шуан (18,00 шт), Гессенска (12,6 шт), Вилана (12,33 шт), таблица 1.

Проведены работы по изучению физиолого-биохимических признаков засухоустойчивости коллекции сои на контрольном варианте и в провокационном фоне в фазу налива бобов и яркого проявления недостатка влаги (июль-август).



а – устьицы эпидермиса листа сорта Гессенска (богарный участок),
б – сорт Гессенска (орошаемый участок); в – эпидермис без волосков сорта Ичйю Гавари,
увеличение микроскопа $\times 100$; г – волоски эпидермиса сорта Хуанг бао жу, увеличение $\times 1000$

Рисунок 1 – Анатомическое исследование листьев сои при возделывании на орошении и богарном участках

Оценка данных уровня свободного пролина в листьях сои по значению медианы показала, что в наборе образцов с полива ее показатель составляет 38,08 мг/%, тогда как для тех же образцов, возделывавшихся без полива – 46,77 мг/%, что свидетельствует о более высоком уровне свободной аминокислоты в листьях растений, находящихся под влиянием более сильного стрессового фактора – засухи (таблица 1). Полученные данные согласуются с данными исследований механизмов засухоустойчивости растений по-

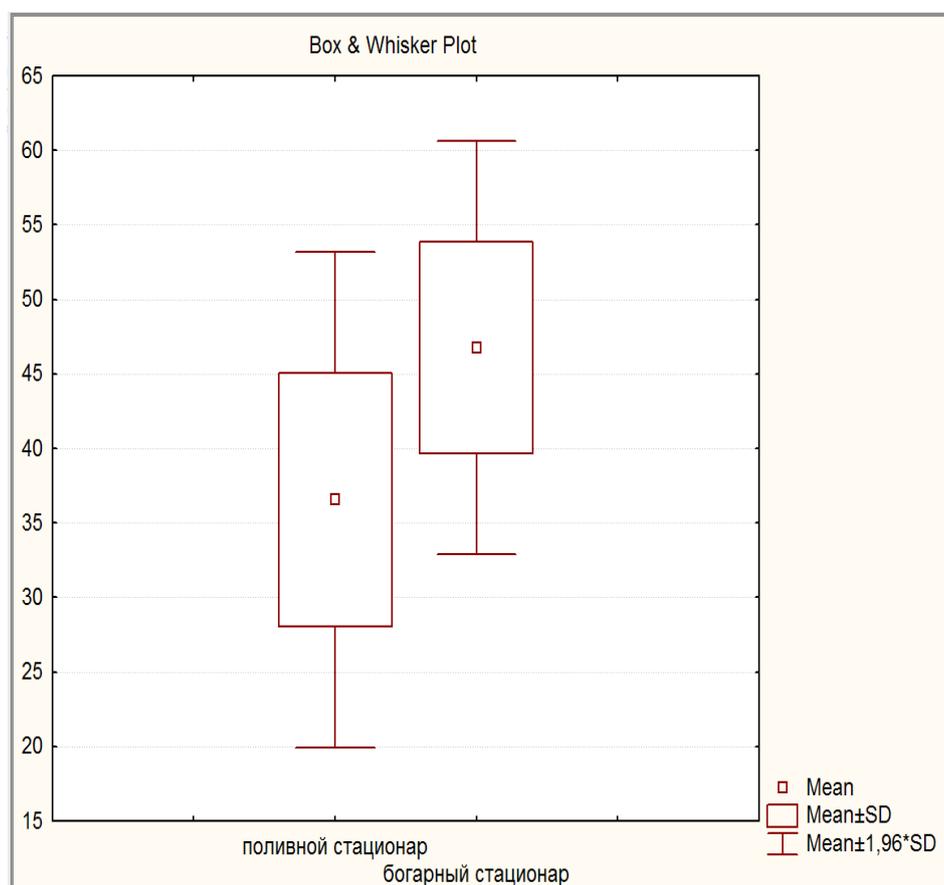
зволяющих поддерживать тургор и продолжать обмен веществ даже при низком водопотреблении, через протоплазматическую толерантность и синтез осмолитов [12,20]. Однако в некоторых исследованиях при сравнении засухоустойчивых и чувствительных к засухе сортов сои не выявлено повышение уровня пролина при стрессе, при этом уровень пролина толерантного сорта был выше, чем у чувствительного [21].

Интенсивное накопление свободного пролина в листьях сои в условиях стационара на

богаре (засушливом участке) по сравнению с поливом отмечено у следующих коллекционных образцов: Память ЮКГ (62,48 мг/%), Д-60-5186 (62,13 мг/%), Комет (57,25 мг/%), Григنون 5 (55,81 мг/%), Гессенска (54,23 мг/%), Виелнска Брунатна (53,84 мг/%).

Проведенный анализ по описательной статистике с построением специализированного ста-

тистического графика позволяет более наглядно визуализировать разницу между средними и граничными значениями максимума (54,1 мг/%) и минимума (18,0 мг/%) накопления свободного пролина у растений поливного и богарного стационаров (максимум – 62,4 мг/%) и минимум 35,7 мг/%) соответственно (рисунок 2, таблица 1).



Mean – среднее значение; SD – стандартное отклонение;
Mean±1.96*SD –максимальные и минимальные значения

Рисунок 2 – Разброс значений свободного пролина (мг/%) в коллекционных образцах сои при возделывании на поливном и богарном стационарах

Стресс от засухи влияет на основные физиологические процессы, такие как газообмен, транспирация, а также фотосинтез [22].

Хлорофилл один из главных компонентов хлоропласта для фотосинтеза. Уменьшение содержания хлорофилла под стрессом засухи считается типичным симптомом пигментного фотоокисления и деградации хлорофилла. Снижение содержания хлорофилла во время засухи зависит от продолжительности и ее степени. Уменьше-

ние общего содержания хлорофилла в условиях засухи подразумевает понижения сбора урожая [23].

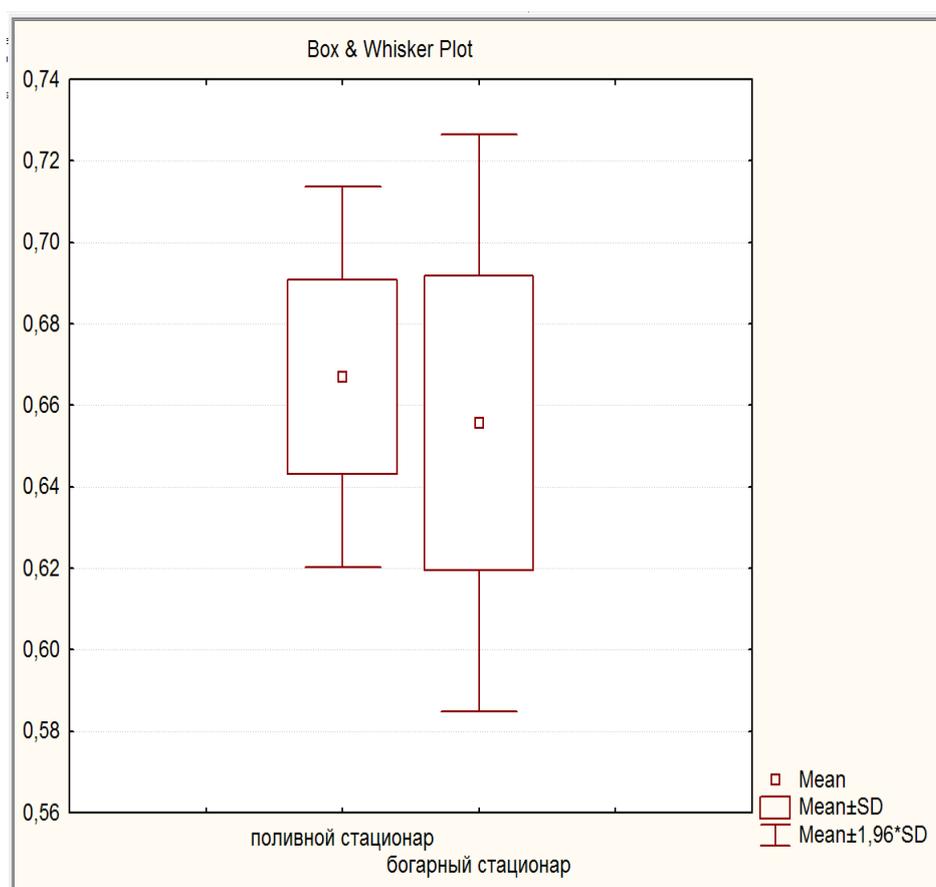
Оценка физиологического состояния растений сои на орошаемом и богарном стационарах (не поливной участок) с использованием флуоресцентного анализа на импульсно-модулированном приборе серии FluorPen 100 в фазе цветения и в фазе налива бобов показала, более низкие значения медианы QY растений сои в

стрессовых условиях (0,655 отн.ед.) богарного участка, при сравнении с поливом (0,677 отн.ед.), таблица 1.

Визуализация разброса значений квантового выхода с использованием статистического графика позволило установить, что наиболее широкий разброс значений был зафиксирован на растениях богарного стационара (минимальное -0,58 отн.ед., максимальное -0,74 отн.ед.), при значениях на поливном стационаре – минимальное – 0,63 отн.ед., максимальное-0,73 отн.ед. Где наиболее низкие значения QY (ниже 0,64 отн.ед) зафиксированы только

у растений провакационного фона (богарный стационар).

Выделены сорта (Хуанг бао жу, Схимизу 1-8-1, Ичийо Гавари, Гессенска) имеющие повышенный уровень QY в период недостатка влаги, по сравнению растениями поливного фона опыта, что свидетельствует о том, что в стрессовых условиях недостатка влаги растения способны продолжать стабильный режим фотосинтеза. Генотипические отличия в способности продолжать фотосинтез и держать устьица открытыми, несмотря на недостаток воды, были отмечены так же в ряде исследований [24, 25].



Mean – среднее значение; SD – стандартное отклонение;
Mean±1.96*SD –максимальные и минимальные значения

Рисунок 3 – Разброс значений квантового выхода QY(отн.ед.) в коллекционных образцах сои при возделывании на поливном и богарном стационарах

По данным комплексного анализа по анатомо-морфологическим, физиолого-биохимическим маркерам засухоустойчивости уста-

новлено, что больший стресс от недостатка влаги испытывали сорта Диндоне, Вавилов 63-17, Ажма, Колхида 4.

Таблица 1 – Результаты оценки коллекции сои по анатомо-морфологическим, физиолого-биохимическим маркерам засухоустойчивости

Наименование	Квантовый выход QY, отн.ед.		Содержание свободного пролина, мг/%		Среднее количество волосков, шт		Среднее количество устьиц, шт	
	полив	Засуха	полив	Засуха	Полив	Засуха	полив	засуха
Машлеарроу	0,68±0,027	0,66±0,030	38,08±2,24	43,61±1,60	16,45±2,060	7,45±2,114	10,00±1,632	8,89±1,099
Аксагара	0,67±0,031	0,68±0,031	45,13±0,46	46,81±1,98	4,55±1,165	4,33±0,942	8,22±1,030	7,89±0,993
Диндоне	0,68±0,060	0,65±0,052	36,69±2,05	41,09±1,98	13,56±4,003	10,56±1,422	8,55±0,831	7,55±1,165
Кыэ-шуан	0,67±0,054	0,63±0,029	23,25±0,00	-	8,55 ±1,065	18,6±2,408	10,44±0,955	18,00±1,571
Комет	0,65±0,016	0,68±0,094	18,00±0,23	57,35±0,66	10,00±1,054	12,22±2,298	8,66±0,942	9,22±1,227
Цзи-пи4	0,7±0,061	0,69±0,063	26,44±1,82	43,07±1,32	15,00±1,154	11,67±2,108	9,22±1,396	9,78±1,474
Виелнеска Брунатна	0,63±0,042	0,62±0,030	19,60±0,46	53,84±1,10	12,22±3,424	9,11±0,993	9,78±1,396	10,00±1,154
Григнон 5	0,65±0,016	0,64±0,038	40,57±2,73	55,81±0,44	7,89±0,737	9,67±0,816	9,67±1,563	11,00±1,490
Колхида 4	0,66±0,029	0,58±0,041	33,50±0,68	46,81±2,42	9,89±3,071	9,78±2,346	7,22±0,785	8,76±1,314
Д-60-5186	0,69±0,074	0,65±0,033	43,76±1,82	62,13±1,54	8,33±1,699	11,22±3,614	8,33±0,942	8,99±1,054
Фискейб 4	0,64±0,310	0,65±0,301	28,26±1,37	44,57±0,22	7,44±0,955	5,00±1,333	7,33±0,471	6,65±0,831
Скълтнея	0,65±0,049	0,66±0,009	31,91±0,00	52,25±0,44	9,33±0,816	12,89±1,968	12,89±1,369	9,56±1,065
Гессенска	0,63±0,310	0,68±0,033	34,19±0,00	54,23±1,98	12,78±1,930	11,11±1,728	10,55±1,257	12,6±2,362
Сигора	0,65±0,013	0,6±0,004	38,29±1,82	43,03±2,63	14,78±1,396	16,33±1,154	8,78±0,628	10,45±1,257
Ажма	0,63±0,291	0,59±0,294	38,07±1,11	37,54±2,41	15,00±1,632	12,44±2,216	10,22±1,227	9,33±1,414
Соусеи	0,68±0,500	0,68±0,055	32,28±1,11	41,97±1,54	9,22±1,685	6,56±2,165	8,67±1,154	8,33±1,154
Нхап10	0,66±0,044	0,66±0,025	47,19±1,78	37,36±1,32	9,33±0,666	19,22±1,314	10,88±2,282	9,78±0,785
Вавилов 63-17	0,7±0,035	0,6±0,112	54,09±1,56	38,89±1,54	8,11±2,024	10,78±1,547	11,56±1,640	10,11±1,286

Продолжение таблицы 1

Наименование	Квантовый выход QU, отн.ед.		Содержание свободного пролина, мг/%		Среднее количество волосков, шт		Среднее количество устьиц, шт	
	полив	Засуха	полив	Засуха	Полив	Засуха	полив	засуха
Жансая	0,69±0,044	0,65±0,024	40,57±0,46	42,41±1,98	10,00±1,154	10,89±0,993	9,33±1,490	9,78±0,916
Спонсор	0,68±0,015	0,68±0,021	44,60±0,61	44,40±1,86	8,33±1,632	10,22±1,133	9,89±0,993	9,78±1,133
Вилана	0,68±0,038	0,69±0,051	34,01±2,24	50,52±2,13	9,33±0,942	10,56±1,422	14,67±2,260	12,33±1,333
Черемш	0,68±0,021	0,68±0,053	46,03±0,81	45,73±2,13	9,33±1,054	9,00±1,369	9,87±1,728	9,11±1,369
Маллеамбер	0,68±0,027	0,66±0,030	38,08±2,24	43,61±1,60	16,45±2,060	7,45±2,114	10,00±1,632	8,89±1,099
Гармония	0,63±0,048	0,63±0,303	30,14±0,41	52,91±0,27	7,78±1,133	7,78±1,812	10,00±1,414	8,22±1,133
Красивая мечта	0,65±0,312	0,65±0,301	35,03±2,44	43,07±0,53	14,00±1,414	11,67±2,309	11,56±1,422	10,11±1,91
Ичйю Гавари	0,66±0,0369	0,71±0,030	41,35±3,06	35,70±2,35	0	0	8,44±2,165	11,00±1,825
Схимизу 1-8-1	0,68±0,051	0,7±0,085	48,24±2,30	48,14±3,52	0	0	6,67±1,030	8,33±0,942
Янгарная	0,66±0,045	0,65±0,301	41,34±1,43	40,95±2,66	12,11±2,024	8,44±0,955	9,78±1,617	8,22±1,547
Память ЮГК	0,67±0,020	0,63±0,035	28,31±0,20	62,48±0,80	7,67±1,333	8,89±2,282	9,67±1,563	11,89±1,448
Хуанг бао жу	0,73±0,053	0,74±0,036	40,29±2,00	45,93±1,54	15,22±2,042	14,67±3,299	9,44±0,831	8,78±1,617
Медиана	0,670	0,655	38,08	44,57	9,33	10,39	9,73	9,45
Сред. знач.	0,677	0,656	36,57	46,77	10,12	9,95	9,68	9,78
Станд.откл.	0,023	0,036	8,49	7,08	4,12	4,32	1,6	2,05
Мин.знач.	0,63	0,58	18,0	35,7	0,0	0,0	6,67	6,65
Максим.знач.	0,73	0,74	54,1	62,4	16,45	19,22	14,67	18,0

Выводы

Изучение 30 коллекционных сортов сои по анатомо-морфологическим, физиолого-биохимическим маркерам засухоустойчивости на двух фонах (орошение и богара) позволило выделить образцы с признаками ксероморфизма. По высокой опушенности листьев в условиях засухи выделены сорта: Нхат 10 (19,22 шт), Кыэ-шуан (18,6 шт), Ситора (16,33 шт). По наличию высокого числа устьиц в условиях засухи выделены образцы – Кыэ-шуан (18 шт), Гессенска (12,6 шт), Вилана (12,33 шт). По интенсивному накоплению свободного пролина в листьях сои в богарном участке выделены сорта – Память ЮКГ (62,48 мг/%), Д-60-5186 (62,13 мг/%), Комет (57,25 мг/%), Григнон 5 (55,81 мг/%), Гессенска (54,23 мг/%), Виелнска Брунатна (53,84 мг/%). По повышенному уровню QY в период недостатка влаги, по сравнению с растениями поливного фона опыта выделены сорта – Хуанг бао жу, Схимизу 1-8-1, Ичийо Гавари, Гессенска.

По данным комплексного анализа по анатомо-морфологическим, физиолого-биохими-

ческим маркерам засухоустойчивости установлено, что больший стресс от недостатка влаги испытывали сорта Диндоне, Вавилов 63-17, Ажда, Колхида 4.

Выделены сорта Гессенска, Кыэ-шуан, Комет как засухоустойчивые по двум и трем фенотипическим маркерам засухоустойчивости.

Конфликт интересов

Все авторы прочитали и ознакомлены с содержанием статьи и не имеют конфликта интересов.

Финансирование

Работа выполнена в рамках финансирования Комитета науки МОН РК по бюджетной программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований» проекту ИРН AP05131562 «Поиск и применение фенотипических и молекулярных маркеров для оценки рабочей коллекции и в селекции сои на засухоустойчивость»

Литература

- 1 Бородычев В.В., Лытов М.Н., Диденко А.А., Пахомов Д.А. Капельное орошение сои. – Волгоград: Панорама, 2006. – 168с.
- 2 Статистические данные продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных наций (ФАО) <http://www.fao.org/faostat>.
- 3 Trenberth K.E., Dai A., van der Schrier G., Jones P.D., Barichivich J., Briffa K.R., Sheffield J. Global warming and changes in drought // *Nat. Clim. Change* – 2014. – № 4. – P.17–22
- 4 Hussain M., Mumtaz S. Climate change and managing water crisis: Pakistan's perspective // *Rev Environ Health*. – 2014. – № 29. – P. 71–77.
- 5 Снеговой П.С. Водопотребление орошаемой сои // *Зерновые и кормовые культуры на орошаемых землях: сб.статей.* – Кишинев, 1972. – С.25.
- 6 Балакай Г.Т. Влияние влагообеспеченности на урожай сои. // *Мелиорация и водное хозяйство.* – 2003. №4. – С. 6-9.
- 7 Eck H.V., Mathers A.C., Musick J.T. Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans // *Field Crops Research*. – 1987. – Vol. 17(1). – P.1-16.
- 8 Desclaux D., Huynh T.T., Roumet P. Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress // *Crop Science*. – 2000. – Vol.40(3). – P. 716-722.
- 9 Яков Лев. Капельное орошение // *Шфаим.* – 2003. – С.2.
- 10 Frederick J.R., Camp C.R., Bauer P.J. Drought-stress effects on branch and main stem seed yield and yield components of determinate soybean // *Crop Science*. – 2001. – Vol. 41(3). – P.759-763.
- 11 Sadeghipour O., Abbasi S. Soybean response to drought and seed inoculation. *World // Applied Sciences Journal*. – 2012. – Vol.17(1). – P. 55-60.
- 12 Manavalan L.P., Guttikonda S.K., Tran L.S.P., Nguyen H.T. Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean // *Plant and Cell Physiology*. – 2009. – Vol. 50 (7). – P. 1260-1276.
- 13 Ku Y.Sh., Au-Yeung W.K., Yung Y.L., Li M., Wen Ch.Q., Liu X. Lam H.M. Drought Stress and Tolerance in Soybean // *Licensee InTech*. – 2013. – Chapter 10 – P.209-237 DOI.org/10.5772/52945/
- 14 Ли Т., Дидоренко С., Оразбаева У., Спанкулова З., Ташкенова А., Биримжанова З. Биохимические индексы засухоустойчивости сои // *Биотехнология. Теория и практика.* – 2013. – №3. – С. 35-40 DOI: 10.11134/btp.3.2013.5 1
- 15 Прозина М.Н. Ботаническая микротехника. – М.: Наука, 1960. – 260 с.
- 16 Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies // *Plant Soil*. – 1973. – Vol. 39. – P. 205–207.
- 17 Орехов Д.И., Калабин Г.А. Флуоресцентный анализ как инструмент оценки физиологического состояния деревьев в различных условиях загрязнения в г. Москве // *Вестник РУДН, серия Экология и безопасность жизнедеятельности.* – 2013. – № 5. – 5-17.

- 18 Poorter L., Markesteijn L. Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species // *Biotropica*. – 2008. – № 40. – P. 321–331.
- 19 Garay , A.F. and Wilhelm , W.W. Root system characteristics of two soybean isolines undergoing water stress conditions // *Agron . J.* – 1983. – Vol.75 – P. 973 – 977 .
- 20 Nguyen H.T., Babu R.C., Blum A. Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations // *Crop Science*. – 1997. – Vol. 37. – P. 1426-1434.
- 21 Silvente S., Sobolev A.P., Lara M. Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress // *PLoS ONE*. – 2012. – Vol. 7(6) e38554.
- 22 Ashraf M., Harris P. Photosynthesis under stressful environments: an overview // *Photosynthetica*. – 2013. – 51. – P.163–190.
- 23 Kocheva K., Lambrev P., Georgiev G., Goltsev V., Karabaliiev M. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress // *Bioelectrochemistry*. – 2004. – № 63. – P. 121–124.
- 24 Liu , F. , Anderson , M.N. , Jacobson , S.E. and Jensen , C.R. Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max L. Merr.*) during progressive soil drying // *Environ . Exp . Bot.* – 2005. – Vol.54. – P. 33 – 40 .
- 25 Vignes , D. , Djekoun , A. and Planchon , C. Responses de differents genotypes de soja au defi cit hydrique. // *Can . J. Plant Sci.* – 1986. – Vol.66. – P. 247 – 255 .

References

- 1 Ashraf M., Harris P.(2013) Photosynthesis under stressful environments: an overview. *Photosynthetica*, no. 51, pp. 163–190.
- 2 Balakay G.T.(2003) Vliyaniye vlogoobespechennosti na urozhay soi. [The effect of water supply on yield of soybean]. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo*, no. 4, pp. 6-9.
- 3 Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D.(1973) Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. *Plant Soil*, vol 39, pp. 205–207.
- 4 Borodychev V.V., Lytov M.N., Didenko A.A., Pakhomov D.A. (2006) Kapelnoye orosheniye soi [Drip irrigation of soybean]. *Volgograd.: Panorama*, pp. 168.
- 5 Desclaux D., Huynh T.T., Roumet P. (2000) Identification of soybean plant characteristics that indicate the timing of drought stress. *Crop Science*, vol. 40, no.3, pp. 716-722.
- 6 Eck H.V., Mathers A.C., Musick J.T. (1987) Plant water stress at various growth stages and growth and yield of soybeans. *Field Crops Research*, vol. 17, no.1, pp. 1-16.
- 7 Frederick J.R., Camp C.R., Bauer P.J. (2001) Drought-stress effects on branch and main stem seed yield and yield components of determinate soybean. *Crop Science*, vol. 41, no.3, pp. 759-763.
- 8 Garay , A.F. and Wilhelm , W.W. (1983) Root system characteristics of two soybean isolines undergoing water stress conditions . *Agron . J.*, vol.75, pp. 973 – 977.
- 9 Hussain M., Mumtaz S. (2014) Climate change and managing water crisis: Pakistan’s perspective. *Rev Environ Health.*, no. 29, pp.71–77.
- 10 Ku Y.Sh., Au-Yeung W.K., Yung Y.L., Li M., Wen Ch.Q., Liu X. Lam H.M. (2013) Drought Stress and Tolerance in Soybean. *Licensee InTech*, Chapter 10, pp. 209-237. DOI.org/10.5772/52945/
- 11 Li T., Didorenko S., Orazbaeva U., Spankulova Z., Tashkenova A., Birimzhanova Z. (2013) Biohimicheskie indeksy zasuhostoychivosti soi [Biochemical indices of drought resistance of soybean]. *Biotehnologiya. Teoriya i praktika*, no.3, pp. 35-40. DOI: 10.11134/btp.3.2013.5 1
- 12 Liu , F. , Anderson , M.N. , Jacobson , S.E. and Jensen , C.R. (2005) Stomatal control and water use efficiency of soybean (*Glycine max L. Merr.*) during progressive soil drying. *Environ . Exp . Bot.*, vol.54, pp.33 – 40.
- 13 Manavalan L.P., Guttikonda S.K., Tran L.S.P., Nguyen H.T. (2009) Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*, vol. 50, no.7, pp.1260-1276.
- 14 Nguyen H.T., Babu R.C., Blum A. (1997) Breeding for drought resistance in rice: physiology and molecular genetics considerations . *Crop Science.*, vol. 37, pp.1426-1434.
- 15 Orehov D.I., Kalabin G.A.(2013) Fluorestsentyy analiz kak instrument otsenki fiziologicheskogo sostoyaniya derev v razlichnykh usloviyakh zagryazneniya v g. Moskve [Fluorescent analysis as a tool for assessing the physiological state of trees in different pollution conditions in Moscow]. *Vestnik RUDN, seriya Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatel'nosti*, no. 5, pp. 5-17.
- 16 Poorter L., Markesteijn L.(2008) Seedling traits determine drought tolerance of tropical tree species. *Biotropica*, no. 40, pp.321–331.
- 17 Prozina M.N.(1960) *Botanicheskaya mikrotehnika* [Botanical microtechnology]. M.: Nauka, pp. 260.
- 18 Sadeghipour O., Abbasi S. (2012) Soybean response to drought and seed inoculation. *World. Applied Sciences Journal*, vol. 17, no.1, pp.55-60.
- 19 Silvente S., Sobolev A.P., Lara M.(2012) Metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive soybean genotypes in response to water stress. *PLoS ONE.*, vol. 7(6) e38554
- 20 Snegovoy P.S. (1972) Vodopotrebleniye oroshayemoy soi [Water consumption of irrigated soybean]. *Zernovyye i kormovyye kultury na oroshayemykh zemlyakh: sb.statey*. Kishinev, pp. 25.
- 21 Statisticheskie dannye prodovolstvennoy i sel'skohozyaystvennoy organizatsii Ob'edinennykh natsiy (FAO) [Statistics of the food and agriculture organization of the United Nations (FAO)].
- 22 Trenberth KE., Dai A., van der Schrier G., Jones PD., Barichivich J., Briffa KR., Sheffield J. (2014) Global warming and changes in drought. *Nat Clim Change.*, no. 4, 17–22pp.
- 23 Vignes , D. , Djekoun , A. and Planchon , C. (1986) Responses de different genotypes de soja au defi cit hydrique. *Can . J. Plant Sci.*, vol.66, pp. 247 – 255 .
- 24 Yakov Lev.(2003) Kapelnoye orosheniye [Drip irrigation]. *Shfaim*, pp. 2.