

## ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЙ NDVI И QY ДЛЯ СКРИНИНГА КОЛЛЕКЦИИ СОИ НА ЗАСУХОУСТОЙЧИВОСТЬ

*С.В. Дидоренко, канд.биол. наук,  
заведующий зернобобовых культур ТОО «КазНИИЗиР»*  
*А.А. Амангелдиева, магистр, МНС аналитической лабораторий,  
группы биотехнологии ТОО «КазНИИЗиР»*  
*Р.С.Ержебаева, канд.биол.наук,  
руководитель группы биотехнологии ТОО «КазНИИЗиР»*  
*А.И. Абуғалиева, доктор биологических наук, профессор,  
заведующий аналитической лабораторией ТОО «КазНИИЗиР»  
ТОО «Казахский научно-исследовательский институт  
земледелия и растениеводства», ул. Ерленесова, д. 1  
п.Алматыбак, 040909, Казахстан, [aigul\\_seidinabiyeva@inbox.ru](mailto:aigul_seidinabiyeva@inbox.ru)*

### **Аннотация**

Соя – является стратегической культурой в мировом земледелии, однако она может снизить урожайность вследствие изменения климата в сторону потепления и аридности. Засуха является одним из значимых абиотических стрессовых факторов, который сильно влияет на кратковременные, а также долгосрочные характеристики растений. Исследования физиологии устойчивости сельскохозяйственных растений к засухе и поиски путей её повышения являются актуальной задачей современного растениеводства. Лист растения, как основной фотосинтетический орган, выполняющий функцию дыхания, транспирации и гуттации, наиболее четко демонстрируют реакцию растений на стресс засухи.

В данных исследованиях целью являлось оценка значений NDVI и QY листьев сои и применимости методов цифрового, инструментального фенотипирования параметров флуоресценции в скрининге коллекции сои на засухоустойчивость в условиях поливного и неполивного стационаров. Для исследования были использованы коллекционные образцы сои 6 групп спелости (98 образцов), выращенные на двух контрастных фонах: в условиях орошения и без орошения.

На неорошаемом стационаре коллекционные образцы по-разному переносили стресс засухи, что отразилось на показателях NDVI и QY в зависимости от группы спелости. У засухоустойчивых образцов при отсутствии вегетационных поливов уровень NDVI находился в пределах 0,72-0,88, у неустойчивых - 0,62-0,70. Уровень QY у засухоустойчивых образцов при стрессе засухи находился в пределах 0,68-0,71, у неустойчивых 0,56-0,67.

Результаты оценки влияния стресса засухи на коллекционные сортообразцы с целью выделения засухоустойчивых форм по признакам продуктивности в большинстве случаев подтверждаются физиологическими измерениями параметров NDVI и QY. Таким образом, данные методы могут быть дополнительными маркерами при скрининге сои на засухоустойчивость.

**Ключевые слова:** соя, коллекция, засухоустойчивость, фенотипирование, орошение, без орошение, NDVI, QY.

## Введение

Соя является ценнейшим растением на планете, динамично распространяющимся, особенно в последние десятилетия, почти на всех континентах. Пищевое значение сои определяется исключительно высоким содержанием в зерне практически всех элементов питания, необходимых живым организмам [1]. Соя так же является ведущей культурой среди зерновых бобовых по содержанию в семенах белка. Учитывая высокую потребность населения в белке, она является незаменимой культурой в решении этой проблемы. Благодаря способности связывать атмосферный азот она незаменима в севообороте зерновых хозяйств. В настоящее время по объему производства в мире соя вышла на четвертое место после пшеницы, кукурузы и риса. В 2018 году мировое производство сои составило 360 млн. тонн (2017 г. – 351, 2016 г. – 338млн. тонн) [2]. Увеличивается так же и площадь выращивания сои в мире (2017 г. – 123,9 млн. га, 2018 г. 124,9 млн. га 125,6 млн. га, данные ФАО <http://www.fao.org/faostat>), в том числе и в Казахстане (2018 год - 126 тыс. га, 2019 год - 139,5 тыс. га, данные

<https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/>). Казахстан ежегодно наращивает площади посевов сои и намерен довести их к 2021 году до 206 тыс. га, что в 3 раза больше, чем 10 лет назад. Основная доля площадей сои приходится на Алматинскую область - 83%, Восточно-Казахстанскую -9,4% и Костанайскую - 3,9% области <https://stat.gov.kz/official/industry/14/statistic/>.

В последнее время мировое сообщество обеспокоено проблемой глобального изменения климата на земном шаре, что представляет серьезную угрозу для окружающей среды [3]. Изменение климата негативно влияет на жизнедеятельность всех живых организмов и может индуцировать дополнительные стрессовые факторы, которые могут сильно воздействовать на продукционные процессы сельскохозяйственных растений [4]. Одним из таких стрессовых факторов является засуха, при которой из-за недостаточной влагообеспеченности замедляется процесс метаболизма, и это оказывает существенное влияние на рост, развитие и продуктивность сельскохозяйственных растений [5].

Стресс от засухи был определен в качестве основного фактора окружающей среды, ограничивающего урожайность сои в Соединенных Штатах и других регионах мира [6, 7].

Существует много методов определения засухоустойчивости, однако масса зерна с единицы площади, величина уборочного индекса являются наиболее объективными интегрированными показателями эффективности адаптации генотипа к засухе [8, 9].

Засуха является значимым абиотическим стрессовым фактором, который сильно влияет на кратковременные (физиология), а также долгосрочные (рост и приспособленность)

характеристики растений [10]. Исследования физиологии устойчивости

сельскохозяйственных растений к засухе и поиски путей её повышения стали актуальной задачей современного растениеводства.

Точное земледелие оперирует так называемыми индексами, выражающими динамику качественных и количественных показателей в хозяйственной деятельности.

Многие селекционные центры используют вегетационный индекс или NDVI для сканирования оценки коллекционного и селекционного материала сельскохозяйственных культур [11, 12]. Установлено, что динамика накопления биологической массы (NDVI) отражает ответную реакцию генотипа на стрессовые условия (повышение температуры воздуха,

недостаточное увлажнение и т.д.) [12, 13].

Фотосинтез зеленых растений очень чувствительно реагирует на всякое изменение факторов внешней среды. При подавлении фотосинтеза увеличивается флуоресценция хлорофилла. Это так называемая быстрая флуоресценция. Стресс, вызванный засухой, снижает функцию фотосинтетических процессов [14].

Стресс от засухи обычно вызывает значительное снижение водного потенциала и проводимости в устье для  $CO_2$  из-за закрытия устьиц [15]. Это оказывает негативное влияние на скорость фотосинтеза и эффективность карбоксилирования [16, 17], вызванные в основном угнетением вторичных фотосинтетических процессов и нарушением синтеза АТФ [18]. Другие метаболические изменения происходят в содержании хлорофилла и каротиноидов [17, 19] и в реактивном метаболизме кислорода [16]. Все эти физиологические изменения имеют много последствий для роста растений. Засуха также вызывает значительное уменьшение размеров растений, а также содержания азота в листьях [20].

Цель наших исследований состояла в оценке значений NDVI и QY листьев сои и применимости методов цифрового, инструментального фенотипирования параметров флуоресценции в скрининге коллекции сои на засухоустойчивость в условиях

поливного и неполивного стационара. Основной задачей было максимально точно идентифицировать состояние сои, используя широкие возможности портативного флуориметра и

GreenSeeker, тем самым подтвердить на практике использование флуориметра и GreenSeeker как своего рода «сканеров» для оценки физиологического состояния сои.

### Материал и методика исследования

*Объект и материал исследований* – 98 образцов сои (*Glycine max L.*). Материал представлен сортами 6 групп спелости из Японии, Латвии, Китая, Канады, Венгрии, Франции, Грузии, Бразилии, Швеции, Молдовы, Румынии, Таджикистана, Польши и Кубы. В набор коллекции подобраны отечественные и зарубежные сорта, описанные в научной литературе как источники засухоустойчивости. Материал был собран в результате обмена коллекциями с различными селекционными центрами, получен из Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР, г. Санкт-Петербург) и US National Plant Germplasm System.

*Схема опыта:* Коллекционные сортообразцы сои были изучены в 2019 году на полевых стационарах (поливной и не поливной) Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР), которые расположены в Алматинской области, на высоте 740 метров над уровнем моря, 43°15' с. ш., 76°54' в. д. Посев осуществлен 29 апреля 2019 г.. Учетная делянка 1 погонный метр, норма высева 25

семян, ширина междурядья 30 см, глубина заделки семян 4 см, посев рандомизированный, три повторности.

Проведение всех агротехнологических мероприятий по подготовки к посеву, уходу за посевами (полив, рыхление междурядий, уничтожение сорной растительности), уборки урожая по методам, описанным в методике полевого опыта по Доспехову Б.А. [21], Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [22]. Самотечные вегетационные поливы на поливном участке осуществлялись трижды 25 июня, 15 июля и 7 августа 2019 года с поливной нормой 1200 (м<sup>3</sup>/га).

Фенологические наблюдения по основным фазам развития: посев, всходы (VE), появление тройничного листа (V1), цветение (R2), бобообразование (R4), налив бобов (R6), созревание (R8) [23].

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index, индекс «зелени» растения или фотосинтетической активности). Для оценки состояния сортообразцов сои по индексу NDVI на двух контрастных стационарах (орошение, без орошения) был использован прибор Green Seeker Handheld. Листовая диагностика листьев сои производилась путем оценки

интенсивности зеленого цвета и измерения светопоглощения листьями растений сои. Сила обнаруженного света является прямым индикатором здоровья растений. Листовая диагностика всех образцов коллекции с помощью оптического датчика Green Seeker Handheld проводилась с фазы тройничного листа сои, каждые 14 дней до полного созревания растений. Во время обследования прибором оценивались растения с определенной площади сортообразца на трех повторностях. Измерения проводили в дневное время (с 1:00 до 13:00).

*Flour Pen 100.* Оценка физиологического состояния растений сои на орошаемом и не орошаемом стационарах была проведена с использованием флуоресцентного анализа на импульсно-модулированном приборе серии Fluor Pen 100. Были произведены измерения среднего значения QY (квантовый выход — параметр, определяющий эффективность работы фотосистемы) растений сои. Измерения проводились в утреннее время с 9:00 до 11:00. Анализ каждого сорта проведен на трех случайно отобранных, полностью развитых листьях. Флуоресценцию хлорофилла измеряли на адаксиальной поверхности средней части листовой пластинки три раза для каждого листа.

*Статистическая обработка данных.* Basic statistics анализ

значений *NDVI* и *QY* в период максимального пика данных показателей выполнен с использованием программы *Statistica 10 (Портативная версия)* с использованием графической статистики для наглядного изображения основных характеристик выборки *GraphTypeBox-Whiskers*.

Оценка линейных коэффициентов корреляции Пирсона выполнен в программной среде R (R version 3.6.1 (2019-07-05) "Action of the Toes") с открытым исходным кодом. Расчитаны матрицы линейных коэффициентов корреляции Пирсона (`cor(..., method = "pearson")`) из встроенного пакета `{stats}`, графики для них (`corrplot`) построены с применением пакета `{corrplot}`."

*Метеорологические условия периода исследований фиксировались метеостанцией КазНИИЗиР.* По данным метеостанции КазНИИЗиР метеорологические условия периода исследований 2019 года в районе проведения исследований существенно отличались от среднемноголетних значений. Температурный фон с мая по октябрь был выше среднемноголетних показателей на 0,5-3,2 °C (таблица 1). Высокие температуры, как днем, так и ночью, привели к появлению воздушной засухи в репродуктивные периоды сои.

Таблица 1 – Среднемесячная температура воздуха и осадки в период вегетации, 2019 г.

М есяц	Температура, °С			Осадки, мм		
	ф акти- ческая	сред не- многолетн ая	отк лонение	ф акти- ческая	средн е- многолетня я	отк лонение
А прель	+ 12,4	+ 10,4	+2, 0	1 83,0	56,5	+12 6,5
М ай	+ 16,9	+16, 4	+0, 5	3 9,3	61,6	- 22,3
И юнь	+ 22,3	+21, 2	+1, 1	7 2,7	53,9	+18, 8
И юль	+ 26,9	+24, 1	+2, 8	2 5,7	26,6	-0,9
А вгуст	+ 24,9	+22, 1	+2, 8	6 7,7	21,3	+46, 4
Се нтябрь	+ 18,5	+16, 0	+2, 5	6 7,2	15,9	+51, 3
О ктябрь	+ 11,5	+8,3	+3, 2	4 4,7	29,1	+15, 6

Превышение среднемноголетних показателей осадков в апреле в 3,5 раза благоприятно отразилось на влагозарядке и последующих всходах. Обилие осадков в августе, и особенно в сентябре, октябре месяцах привели к полеганию растений, как на поливном, так и на богарном участке, вегетационный период затянулся на столько, что

по некоторым позднеспелым сортообразцам не возможно было точно определить срок их вегетации. Основные фазы развития проходили в период недостаточного увлажнения. Май, июнь, июль месяцы и первая половина августа характеризовались нестабильным распределением осадков

### Результаты и обсуждение

*Фенологические фазы развития коллекционных сортообразцов сои в условиях орошения и без орошения.*

Исучаемый коллекционный материал по результатам оценки продолжительности вегетационного периода в условиях

юго-востока Казахстана был разбит на 6 групп спелости на орошении и на 7 групп спелости без орошения в зависимости от суммы положительных температур, накопленной за вегетационный период (таблица 2).

Таблица 2 – Продолжительность вегетационного периода сои разных групп спелости (просчитанных по сумме положительных температур), 2019 г.

Группа спелости	Сумма положительных температур, С <sup>0</sup>	Вегетационный период, дни	Количество образцов, шт	
			пол ив	засуха
MG 000	1700-2000	74-84	-	7
MG 00	2000-2400	85-101	7	9
MG 0	2400-2600	102-109	7	1
MG I	2600-2800	110-120	5	12
MG II	2800-3000	121-131	15	11
MG III	3000-3200	132-142	9	24
MG IV	Более 3200	Более 143	55	34

В наших исследованиях отмечена общая тенденция сокращения фенологических фаз развития R4 -R6 и R6 – R8 в опыте (без орошения) по сравнению с контролем (орошение) по всем группам спелости, что в конечном счете отразилось на продолжительности всего вегетационного периода VE-R8.

Normalized difference vegetation index (NDVI) дословно переводится как «нормализованный относительный вегетационный индекс» – это показатель способности растений отражать и поглощать световые волны. Индекс вегетации – относительный, он не имеет единицы измерения и не дает конкретных характеристик для растений, а лишь позволяет дать оценку общего состояния развития посевов.

NDVI-анализ актуален в любой фазе развития растений, при этом нужно осознавать закономерности изменения значений индекса: в начале вегетации, когда растения набирают массу – он растет, в момент цветения/формирования зерна – приостанавливается по мере созревания урожая – снижается [24].

В целом, по данным индекса можно сделать достаточно точный прогноз урожайности. Наиболее точный прогноз урожайности посевов по индексу NDVI можно дать в момент прохождения пика значения NDVI. Так, потенциально максимальный урожай предполагается, если пиковое значение NDVI достигает 0,8-0,9 (в репродуктивные фазы) <https://agrarnyisector.ru/rastenevodstv/o/indeks-vegetacii-rasteniji->

[ndvi.html](https://agrosite.org/publ/programmnoe_obespechenie/ndvi_index/8-1-0-30). Например, для посевов озимой пшеницы при возделывании по интенсивной технологии, значение NDVI во время пика достигает 0,80–0,88 (по данным Центра точного земледелия РГАУ – МСХА им. К.А.Тимирязева). Пик NDVI обычно приходится на момент начала фазы колошения. Зная потенциальную урожайность сорта, мы можем прогнозировать, что при таком значении NDVI урожайность будет максимальной для данного сорта. Если в фазу колошения NDVI достигает значения всего 0,60–0,65, то это значит, что урожайность будет ниже максимальной на 25–30 %

[https://agrosite.org/publ/programmnoe\\_obespechenie/ndvi\\_index/8-1-0-30](https://agrosite.org/publ/programmnoe_obespechenie/ndvi_index/8-1-0-30).

В наших исследованиях максимальное значение NDVI для 00,0 I, II группы спелости было отмечено 25 июля, а для III, IV группы спелости на орошаемом стационаре было отмечено 6 августа, на не орошаемом стационаре как у всех группы спелости 25 июля. Значения NDVI коллекционных образцов при орошении ниже их значений при стрессе засухи, рисунок 1. Наиболее низкие значения NDVI отмечены в ультраскороспелой группе 0,58-0,79. Уровень максимального накопления биологической массы (0,88) наблюдался в группах спелости 0-III на орошении.

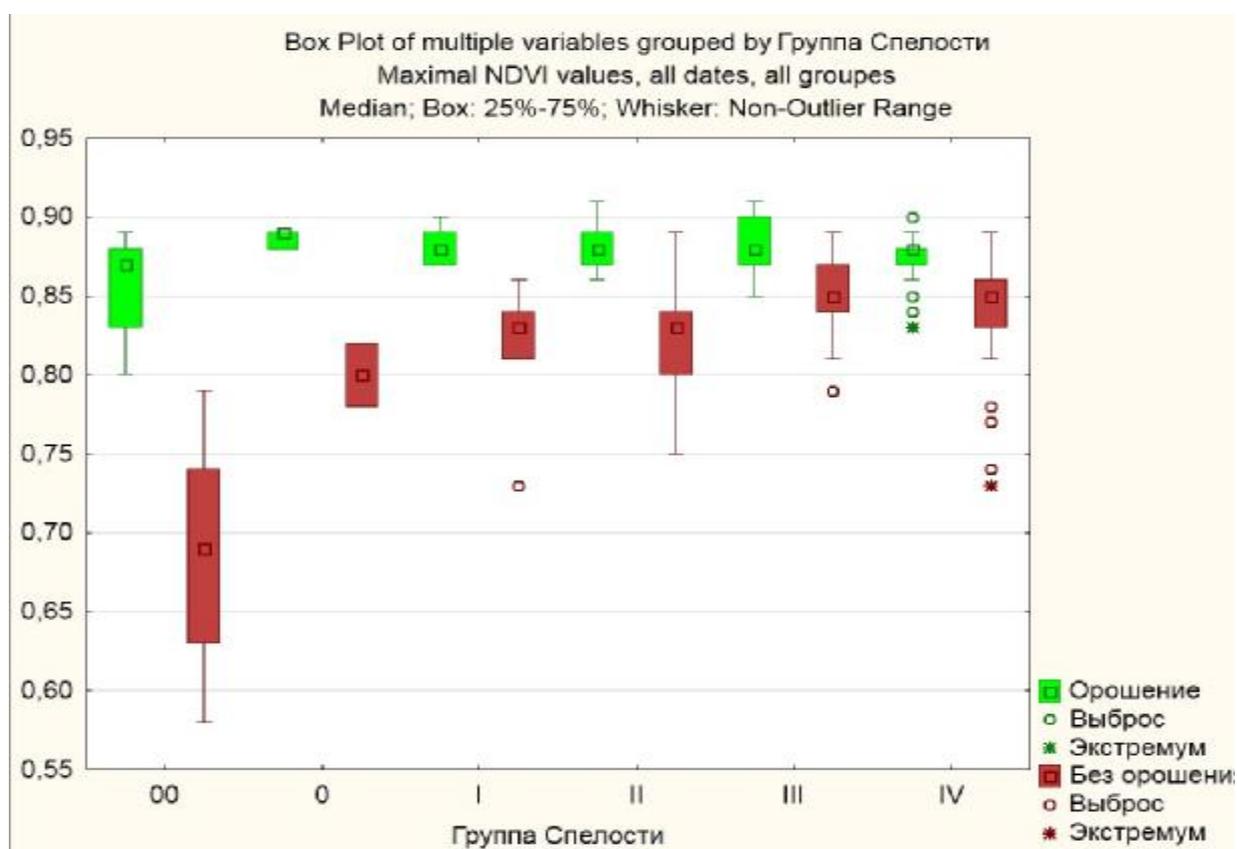


Рисунок 1 - Сравнительный анализ значений *NDVI* коллекционных образцов сои различных групп спелости в контрастных условиях (орошение и без орошения) в период пика (максимальных значений)

На основании сравнения значений *NDVI* на орошении и без, по каждому образцу выделены генотипы, не снижающие значения при стрессе засухи и наоборот повышенные по сравнению с орошением: Sponsoг (0,88 и 0,89), Tun san bai can ker (0,87 и 0,88), Селекта 302 (0,86 и 0,86), ZDD00403 (0,89 и 0,89), Koushurei 235 (0,85 и 0,89), 5695 (0,89 и 0,88).

Как показывает динамика распределения значений *NDVI* его пики приходится на разные репродуктивные стадии развития в зависимости от группы спелости. Так, для 00, 0 группы спелости максимальное значение приходится на фазу - налива бобов, для I, II группы спелости на фазу –

бобообразования, для III группы спелости на поливном стационаре максимальное значение *NDVI* отмечено в фазу – бобообразования, а в не поливном стационаре в фазу – цветения. Для IV группы спелости на поливном стационаре максимальное значение *NDVI* отмечено в фазу – цветения, а на не поливном стационаре в фазу – бутонизации. Отмечено, что стресс засухи оказал влияние на снижение показателей *NDVI* во всех группах спелости во все фазы развития (рисунок2). Наибольшие отклонения показателя *NDVI* были характерны для 00, 0, I групп спелости, наименьшие для II группы спелости.

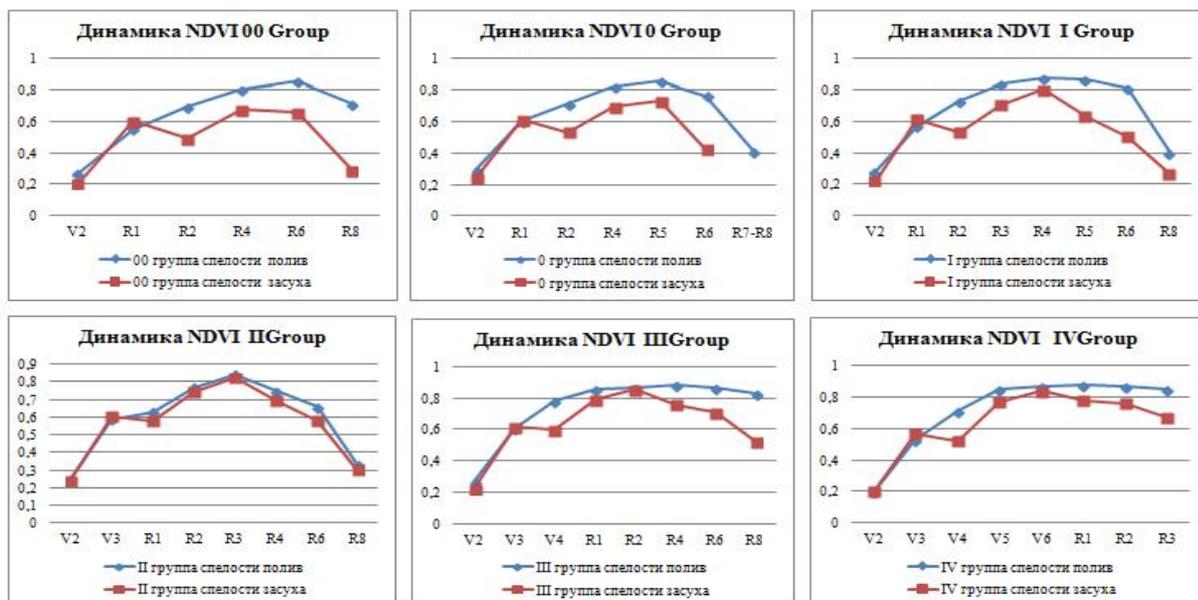


Рисунок 2 – Динамика накопления биомассы коллекционных образцов сои по группам спелости, 2019 г.

Наивысшими значениями вегетационных поливов *NDVI* в условиях отсутствия орошения характеризовались сортообразцы –

Красивая мечта (0,72), Fiskeby 4 (0,75), Gessenska (0,71); в 0 группе спелости Припять (0,77), Спритна (0,82), Танаис (0,79); в I группе спелости Цзи-ти 4 (0,80), Десна (0,83), Черемош (0,86); II группе спелости Букурия (0,84), Xinjiang D11-252 (0,83), Вилана (0,83), Zen (0,83), Жансая (0,85), Селекта 302 (0,86); III группе спелости Nhat 10 (0,87), Jilin No. 10 (0,87), Sponsor (0,89), Nin zhen No. 1 (0,87). В IV группе спелости большинство сортообразцов характеризовались высоким индексом NDVI (0,83-0,87).

**QY** является основным параметром, используемым для описания уровня стресса

отдельного растения и одного из параметров ОЛР, называемого  $PI_{ABS}$ , часто рекомендуется в качестве подходящего маркера для определения реакции растений на различные стрессоры.

Показатель фотосинтетической активности хлоропластов листьев теоретически равен 0,82 отн.ед., в природных условиях для листьев находящихся в хорошем физиологическом состоянии она приближается к 0,8. Стресс засухи оказал влияние на снижение показателя QY по группам спелости, и наибольшие отклонения характерны для 00 и 0 групп спелости (рисунок 3).

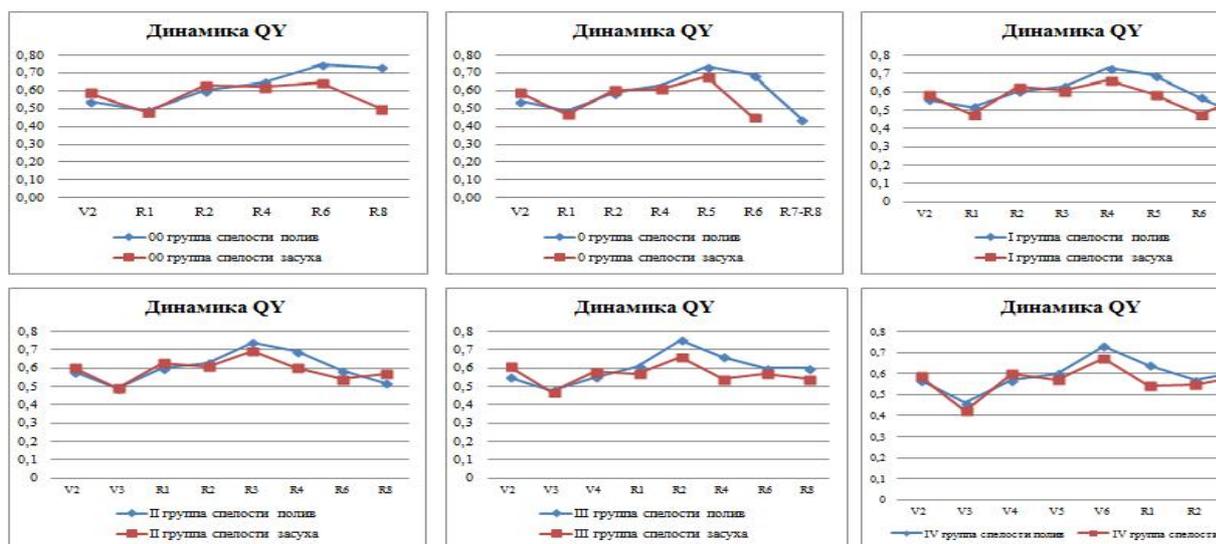


Рисунок 3 – Динамика фотосинтетической активности QY коллекционных образцов сои по группам спелости 2019 г.

Максимальные значение QY на поливном стационаре во всех группах спелости находились в пределах 0,71-0,78 отн.ед., тогда

как на неполивном стационаре максимальные значения были снижены до уровня 0,56-0,73 отн.ед. (рисунок 4)

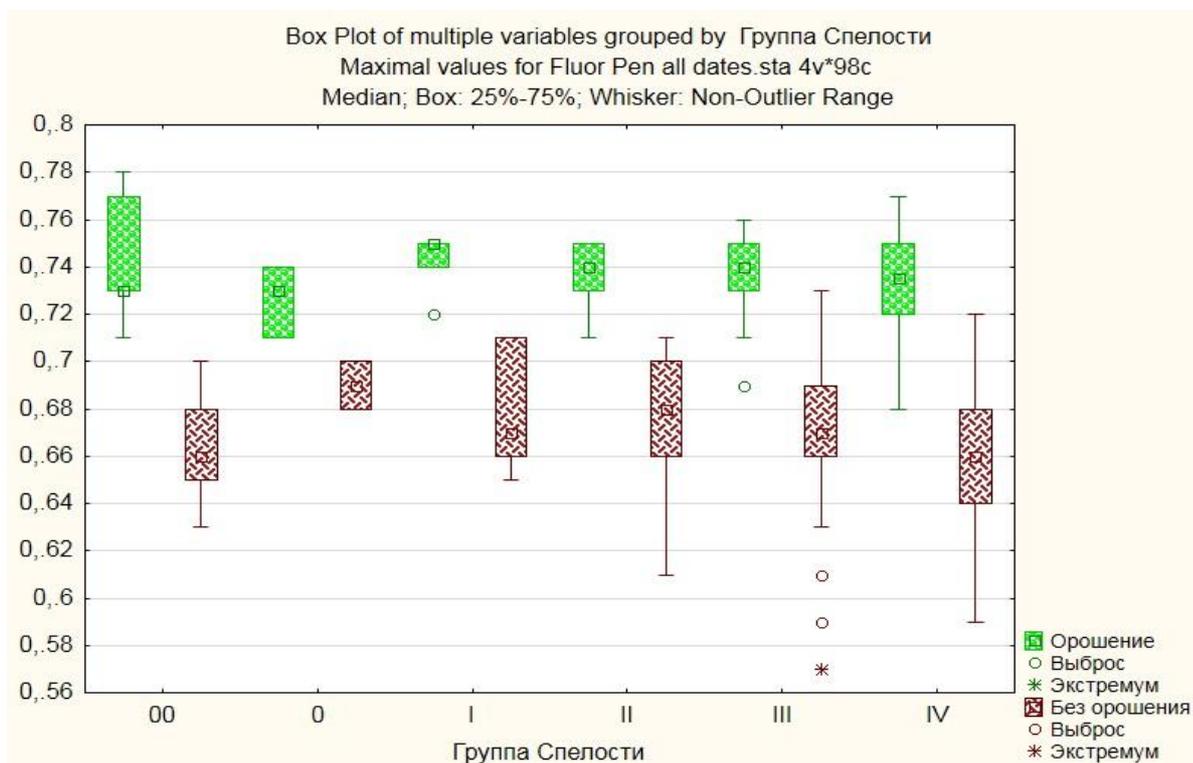


Рисунок 4 – Сравнительный анализ оценки флуоресценции хлорофилла коллекционных образцов сои в контрастных условиях (орошение и без орошения) в период максимальных значений (пик)

Оценка физиологического состояния растений сои с использованием флуоресцентного анализа на импульсно-модулированном приборе серии FluorPen100 выявила образцы с максимальными значениями на неполивном стационаре - в 00 группе спелости - Fiskeby 4 (0,69), Gessenska (0,68); в 0 группе спелости - Припять (0,70), Янтарная (0,69), Спритна (0,70); в I группе спелости - Xinjiangheihe 38 (0,69), Черемош (0,71), II группе спелости - спелости Букурия (0,73), Zen (0,72), Жансая (0,70); в III группе спелости - Xinjiang D10-130 (0,71), Jilin No. 10 (0,69). В IV группе спелости уровень QY по большинству образцов был значительно ниже, чем в остальных группах и находился в пределах 0,56-0,70. Образцы 5695,

Gong jiao 6308-1 характеризовались самыми высокими показателями 0,70 и 0,69 соответственно.

На основании изучения комплекса признаков продуктивности (масса семян с деланки, масса 1000 семян и выполненность) и оценки индекса засухоустойчивости в предыдущих исследованиях [25], коллекционные образцы были распределены на две группы по устойчивости к стрессу засухи.

В условиях орошения значения NDVI и QY в группах засухоустойчивых и неустойчивых образцов были на одном уровне по всем группам спелости (таблица 3). На неорошаемом стационаре коллекционные образцы по-разному переносили стресс засухи, что отразилось на показателях

NDVI и QY в зависимости от группы спелости.

Характерно отметить, что у засухоустойчивых образцов при отсутствии вегетационных поливов уровень NDVI снижался незначительно по сравнению с неустойчивыми образцами, что говорит о возможности

использовать этот индекс как тестовой системы при анализе на засухоустойчивость (таблица 3). Значение показателя NDVI в условиях засухи заметно увеличивалось в зависимости от групп спелости, от 0,68-0,72 в скороспелой группе до 0,84-0,86 в позднеспелой группе.

Таблица 3 – Влияние стресса засухи на показатели NDVI и QY в разных группах спелости сои

Устойчивость к засухе	Орошение		Без орошения	
	NDVI	QY	NDVI	QY
00 группа				
Устойчивые	0,87	0,75	0,72	0,65
Неустойчивые	0,85	0,75	0,68	0,66
0 группа				
Устойчивые	0,87	0,72	0,76	0,69
Неустойчивые	0,85	0,74	0,72	0,67
I группа				
Устойчивые	0,88	0,74	0,83	0,68
Неустойчивые	0,89	0,72	0,76	0,66
II группа				
Устойчивые	0,88	0,73	0,8	0,69
Неустойчивые	0,88	0,74	0,8	0,66
III группа				
Устойчивые	0,9	0,74	0,86	0,68
Неустойчивые	0,88	0,74	0,84	0,67
IV группа				
Устойчивые	0,88	0,72	0,86	0,67
Неустойчивые	0,89	0,73	0,84	0,62

Данные корреляционного анализа показывают высокую положительную зависимость между параметрами NDVI и QY по всем группам спелости от  $r=0,71$  до  $r=0,93$  (таблица 4). В 00,0, I и II группах спелости прослеживается средняя и высокая положительная зависимость между урожайностью

и параметрами NDVI ( $r=0,51-0,76$ ), с наибольшим значением в MG I. В отношении признака QY, средняя положительная корреляция обнаружена в группах спелости I, II и III– 0,67; 0,62 и 0,61 соответственно. Для групп спелости 00, 0 и IV данные этого

параметра не выявили существенной зависимости.

Таблица 4 – Коэффициент генотипической корреляции

Группы спелости	Параметры	Урожайность, г/п.м	NDVI	QY
00	урожайность	1	0,548	0,432
	NDVI	0,5481	1	0,934
	QY	0,432	0,934	1
0	урожайность	1	0,648	0,443
	NDVI	0,648	1	0,755
	QY	0,443	0,755	1
I	урожайность	1	0,732	0,679
	NDVI	0,732	1	0,860
	QY	0,679	0,860	1
II	урожайность	1	0,518	0,620
	NDVI	0,518	1	0,715
	QY	0,620	0,715	1
III	урожайность	1	0,405	0,611
	NDVI	0,405	1	0,477
	QY	0,611	0,477	1
IV	урожайность	1	0,228	0,259
	NDVI	0,228	1	0,770
	QY	0,259	0,770	1

Результаты оценки влияния стресса засухи на коллекционные сортообразцы с целью выделения засухоустойчивых форм по признакам продуктивности в большинстве случаев

подтверждаются физиологическими измерениями параметров NDVI и QY. Таким образом, данные методы могут быть дополнительными маркерами

при скрининге на засухоустойчивость.

### **Выводы**

В условиях орошения значения NDVI и QY в группах засухоустойчивых и неустойчивых образцов были на одном уровне по всем группам спелости. На неорошаемом стационаре коллекционные образцы по-разному переносили стресс засухи, что отразилось на показателях NDVI и QY в зависимости от группы спелости.

У засухоустойчивых образцов при отсутствии вегетационных поливов уровень NDVI находился в пределах 0,72-0,88, у неустойчивых - 0,62-0,70.

### **Финансирование**

Работа выполнена в рамках финансирования Комитета науки МОН РК по бюджетной программе 217 «Развитие науки», подпрограмме 102 «Грантовое финансирование научных исследований» проекту ИРН

Уровень QY у засухоустойчивых образцов при отсутствии вегетационных поливов находился в пределах 0,68-0,71, у неустойчивых 0,56-0,67.

Результаты оценки влияния стресса засухи на коллекционные сортообразцы с целью выделения засухоустойчивых форм по признакам продуктивности в большинстве случаев подтверждаются физиологическими измерениями параметров NDVI и QY. Таким образом, данные методы могут быть дополнительными маркерами при скрининге на засухоустойчивость

AP05131562 «Поиск и применение фенотипических и молекулярных маркеров для оценки рабочей коллекции и в селекции сои на засухоустойчивость»

### **Список литературы**

- 1 Баранов В.Ф. Соя на Кубани / В.Ф. Баранов, А.В. Кочегура, В.М. Лукомец. – Краснодар, 2009. – 320 с.
- 2 Мировое производство сои [Электронный ресурс]. URL: <https://feedlot.ru/?p=1573> (дата обращения 20.01.2020 г.)
- 3 Reyer C. Climate change adaptation and sustainable regional development: a case study for the Federal State of Brandenburg, Germany / C. Reyer, J. Bachinger, R. Bloch and et al. // Reg. Environ Change. – 2012. – Vol.12. – P. 523-542.
- 4 Habash D.Z. Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought / D.Z Habash., Z. Kehel, M. Nachit // J. Exptl. Botany. – 2009. – Vol.60, № 10. – P. 2805-2816.

5 Semenov M.A. Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate / M.A. Semenov, N.G Halford. // *J. Exptl. Botany*. – 2009. – Vol.60, №10. – P. 2791-2804.

6 Zipper S.C. Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes / S.C. Zipper, J.Qiu, C.J. Kucharik // *Environmental Research Letters*. – 2016. – Vol.11, № 9.

7 Battisti R. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model / R. Battisti, P.C. Sentelhas // *Experimental Agriculture Journal*. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 285–298.

8 Ричардс З.А. Признаки, по которым улучшают урожайность в условиях засухи / З.А. Ричардс, А.Г. Кондон, Г. Дж. Ребецке // Сб: Применение физиологии в селекции пшеницы. Киев-Логос. – 2007. – С.184-207.

9 Passioura J.B. Grain yield harvest index and water use of wheat / J.B. Passioura // *Australian Institute of Agricultural. Science*. – 2015. – Vol.43. – P.117-120.

10 Givnish T.J. Adaptation to sun and shade—a whole-plant perspective / T.J. Givnish // *Australian Journal of Plant Physiology*. – 1988. – Vol. 15(1–2). – P.63–92.

11 Morgounov A. Association of digital photo parameters and NDVI with winter wheat grain yield in variable environments / A.Morgounov, N. Gummadov, S.Belen, M.Keser, J. Mursalova // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. – 2014. – Vol. 38. – P. 624-632.

12 Abugaliyeva A.I. NDVI characterization of synthetic and wild wheat relatives, wheat double haploids, of Naked barley and oats, sorghum, soybean and winter rape / A.I. Abugaliyeva, A.I. Morgounov, A. Massimgaziyeva, K. Kozhakhmetov, V. Chudinov, R. Zhapayev // 2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference. Antalya, Turkey, 1-5 November, 2015. – P.265.

13 Didorenko S.V. NDVI characteristics, productivity and drought tolerance of precocious somaclonal soybean lines in contrasting areas of Kazakhstan / S.V. Didorenko, A.I. Abugaliyeva, O.A. Rozhanskaya, Y.N. Spryagaylova // II International Plant Breeding Congress and Eucarpia – oil and protein crops section conference . Antalya, Turkey, 1-5 November, 2015. – P.213.

14 Pavlíková Z. Physiological and fitness differences between cytotypes vary with stress in a grassland perennial herb / Z. Pavlíková, D.Holá, B.Vlasáková, T. Procházka, Z. Münzbergová // *PLoS ONE*. – 2017. – Vol. 12(11).

15 Cornic G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting ATP synthesis / G. Cornic // *Trends in Plant Science*. – 2000. – Vol. 5(5). – P.187–198.

16 Yang P.M. Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice / P.M.Yang, Q.C.Huang, G.Y.Qin, S.P. Zhao, J.G. Zhou // *Photosynthetica*. – 2014. – Vol. 52 (2). – P.193–202.

17 Chandra A. Assessment of ploidy level on stress tolerance of *Cenchrus* species based on leaf photosynthetic characteristics / A.Chandra, A.Dubey // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2009. – Vol.31(5). – P.1003–1113.

18 Lawlor D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP / D.W. Lawlor // *Annals of Botany*. – 2002. – Vol. 89. – P.871–885.

19 Baczek-Kwinta R. Are the fluorescence parameters of German chamomile leaves the first indicators of the anthodia yield in drought conditions? / R.K. Baczek, A. Koziel, L.K. Seidler // *Photosynthetica*. – 2011. – Vol.49 (1). – P. 87–97.

20 Razmjoo K. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile* / K. Razmjoo, P. Heydarizadeh, M.R. Sabzalian // *International Journal of Agriculture and Biology*. – 2008. – Vol. 10(4). – P.451–454.

21 Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – Москва, 1973. – 250 с.

22 Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под ред. С.О. Скокбаева, Алматы: ГКСИСК, 2002. – 378 с.

23 Fehr W.R. Stages of soybean development. Cooperative Extension Service / W.R. Fehr, C.E. Caviness // Ames, Iowa: Iowa State University, 1979. – P. 210.

24 Фесенко М. А. Оценка сезонных значений вегетационного индекса NDVI для диагностики и анализа состояния посевов зерновых культур на северо-западе России / М. А. Фесенко, А. М. Шпанев // *Агрофизика*. – 2016. – С.145-148.

25 Ержебаева Р.С. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (*Glycine Max*) в условиях юго-востока Казахстана / Дидоренко С.В., Кудайбергенов М.С., Даниярова А.К., Амангельдиева А.А. // *Зернобобовые и крупяные культуры*. - 2019. - №3 (31). - С. 63-74

### References

1 Baranov V.F. Soya na Kubani / V.F. Baranov, A.V. Kochegura, V.M. Lukomes. – Krasnodar, 2009. – 320 p.

2 Mirovoe proizvodstvo soi [Elektronnyj resurs]. URL: <https://feedlot.ru/?p=1573> (data obrashcheniya 20.01.2020 g.)

3 Reyer C. Climate change adaptation and sustainable regional development: a case study for the Federal State of Brandenburg, Germany / C. Reyer, J. Bachinger, R. Bloch and et al. // *Reg. Environ Change*. – 2012. – Vol.12. – P. 523-542.

4 Habash D.Z. Genomic approaches for designing durum wheat ready for climate change with a focus on drought / D.Z Habash., Z. Kehel, M. Nachit // *J. Exptl. Botany*. – 2009. – Vol.60, № 10.– P. 2805-2816.

5 Semenov M.A. Identifying target traits and molecular mechanisms for wheat breeding under a changing climate / M.A. Semenov, N.G Halford. // *J. Exptl. Botany*. – 2009. – Vol.60, №10. – P. 2791-2804.

6 Zipper S.C. Drought effects on US maize and soybean production: spatiotemporal patterns and historical changes / S.C. Zipper, J.Qiu, C.J. Kucharik // Environmental Research Letters. – 2016. – Vol.11, № 9.

7 Battisti R. Drought tolerance of Brazilian soybean cultivars simulated by a simple agrometeorological yield model / R. Battisti, P.C. Sentelhas // *Experimental Agriculture Journal*. – 2015. – Vol. 51, № 2. – P. 285–298.

8 Richards Z.A. Priznaki, po kotorym uluchshayut urozhajnost' v usloviyah zasuhi / Z.A. Richards, A.G. Kondon, G. Dzh. Rebecke // *Sb: Primenenie fiziologii v selekci pshenicy*. Kiev-Logos. – 2007. – P.184-207.

9 Passioura J.B. Grain yield harvest index and water use of wheat / J.B. Passioura // *Australian Institute of Agricultural. Science*. – 2015. – Vol.43. – P.117-120.

10 Givnish T.J. Adaptation to sun and shade—a whole-plant perspective / T.J. Givnish // *Australian Journal of Plant Physiology*. – 1988. – Vol. 15(1–2). – P.63–92.

11 Morgounov A. Association of digital photo parameters and NDVI with winter wheat grain yield in variable environments / A.Morgounov, N. Gummadov, S.Belen, M.Keser, J. Mursalova // *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. – 2014. – Vol. 38. – P. 624-632.

12 Abugaliyeva A.I. NDVI characterization of synthetic and wild wheat relatives, wheat double haploids, of Naked barley and oats, sorghum, soybean and winter rape / A.I. Abugaliyeva, A.I. Morgounov, A. Massingaziyeva, K. Kozhakhmetov, V. Chudinov, R. Zhapayev // *2nd International Plant Breeding Congress & EUCARPIA – Oil and Protein Crops Conference*. Antalya, Turkey, 1-5 November, 2015. – P.265.

13 Didorenko S.V. NDVI characteristics, productivity and drought tolerance of precocious somaclonal soybean lines in contrasting areas of Kazakhstan / S.V. Didorenko, A.I. Abugaliyeva, O.A. Rozhanskaya, Y.N. Spryagaylova // *II International Plant Breeding Congress and Eucarpia – oil and protein crops section conference*. Antalya, Turkey, 1-5 November, 2015. – P.213.

14 Pavlíková Z. Physiological and fitness differences between cytotypes vary with stress in a grassland perennial herb / Z. Pavlíková, D.Holá, B.Vlasáková, T. Procházka, Z. Münzbergová // *PLoS ONE*. – 2017. – Vol. 12(11).

15 Cornic G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture-not by affecting ATP synthesis / G. Cornic // *Trends in Plant Science*. – 2000. – Vol. 5(5). – P.187–198.

16 Yang P.M. Different drought-stress responses in photosynthesis and reactive oxygen metabolism between autotetraploid and diploid rice / P.M.Yang, Q.C.Huang, G.Y.Qin, S.P. Zhao, J.G. Zhou // *Photosynthetica*. – 2014. – Vol. 52 (2). – P.193–202.

17 Chandra A. Assessment of ploidy level on stress tolerance of *Cenchrus* species based on leaf photosynthetic characteristics / A.Chandra, A.Dubey // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2009. – Vol.31(5). – P.1003–1113.

18 Lawlor D.W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: Stomata vs. metabolism and the role of ATP / D.W. Lawlor // Annals of Botany. – 2002. – Vol. 89. – P.871–885.

19 Baczek-Kwinta R. Are the fluorescence parameters of German chamomile leaves the first indicators of the anthodia yield in drought conditions? / R.K. Baczek, A. Koziel, L.K. Seidler // Photosynthetica. – 2011. – Vol.49 (1). – P. 87–97.

20Razmjoo K.. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of Matricaria chamomile / K. Razmjoo, P. Heydarizadeh, M.R. Sabzalian // International Journal of Agricultureand Biology. – 2008. – Vol. 10(4). – P.451–454.

21 Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta / B.A. Dospekhov.– Moskva, 1973. – 250 c.

22 Metodika gosudarstvennogo sorto ispytaniya sel'skohozyajstvennyh kul'tur / pod.red. S.O. Skokbaeva, Almaty: GKSISK, 2002. – 378 p.

23Fehr W.R. Stages of soybean development. Cooperative Extention Service / W.R. Fehr, C.E. Cavines// Ames, Iowa: Iowa State University, 1979. – P. 210.

24 Fesenko M. A. Ocenka sezonnyh znacheni vegetacionnogo indeksa NDVI dlya diagnostiki i analiza sostoyaniya posevov zernovyh kul'tur na severozapade Rossii / M. A. Fesenko, A. M. Shpanev // Agrofizika. – 2016. – P.145-148.

25 Erzhebaeva R.S. Poisk istochnikov zasuhoustojchivosti sredi novoi kolleksii soi (Glycine Max) v usloviyah yugo-vostoka Kazahstana / R.S.Erzhebaeva, C.B.Didorenko, M.C.Kudaibergenov, A.K.Daniyarova, A.A.Amangel'dieva // Zernobobovye i krupyanyekul'tury. – 2019. – №3 (31). –P. 63-74.

## **NDVI ЖӘНЕ ҚҮ МӘНДЕРІН ҚОЛДАНУ НӘТИЖЕСІНДЕ ҚЫТАЙБҰРШАҚ КОЛЛЕКЦИЯСЫНЫҢ ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚҚА ТӨЗІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ**

*С.В. Дидоренко, биол.ғ.к., «ҚазЕжӨШҒЗИ» ЖШС  
бұршақ тұқымдасы бөлімінің меңгерушісі*

*А.А. Амангелдиева, магистр, «ҚазЕжӨШҒЗИ» ЖШС,  
биотехнология тобының кіші ғылыми қызметкері*

*Р.С.Ержебаева, биол.ғ.к., «ҚазЕжӨШҒЗИ» ЖШС  
биотехнология тобының меңгерушісі*

*А.И. Аbugалиева биол.ғ.д-р, профессор, «ҚазЕжӨШҒЗИ» ЖШС  
аналитикалық лабораторияның меңгерушісі*

*«Қазақ егіншілік және өсімдік шаруашылығы ҒЗИ» ЖШС,  
Ерленесов 1, Алмалыбақ ауылы, 040909,  
Қазақстан, [aigul\\_seidinabiyeva@inbox.ru](mailto:aigul_seidinabiyeva@inbox.ru)*

Мақалада қытайбұршақ өсімдігінде биомассаның жиналуы – NDVI және QY мәндері, Green Seeker және FluorPen 100 импульсті-модульденген құралымен алынған зерттеулердің нәтижелері көрсетілген.

Зерттелініп отырған қытайбұршақтың коллекциялық үлгілері Қазақстанның оңтүстік-шығыс аймағында стационарда екі жағдайда: суғарылатын және суғарылмайтын аймақта өсірілді. Вегетациялық кезеңнің ұзақтығын бағалау нәтижелері бойынша зерттелінген коллекциялық материал вегетациялық кезеңде жинақталған оң температуралардың сомасына байланысты суғарылатын аймақта пісіп-жетілуіне байланысты 6 топқа, ал суғарылмайтын аймақта 7 топқа бөлінді.

Құрғақшылыққа төзімді қытайбұршақ үлгілерінде вегетациялық суару болмаған кезде NDVI деңгейі 0,72-0,88 шегінде, төзімсіз үлгілерінде – 0,62-0,70 шегінде болды.

Құрғақшылыққа төзімді қытайбұршақ үлгілерінде QY деңгейі вегетациялық суару болмаған кезде 0,68-0,71 шегінде, ал төзімсіз үлгілерінде – 0,56-0,67 шегінде болды.

Коллекциялық үлгілер құрғақшылық стресін әртүрлі өткерді, бұл өз кезегінде пісіп-жетілу топтарына байланысты NDVI және QY көрсеткіштеріне әсер етті.

Коллекциялық сорт үлгілерінің құрғақшылыққа төзімділік әсерін бағалау нәтижелері өнімділік белгілері бойынша құрғақшылыққа төзімді формаларды анықтау мақсатында көп жағдайда NDVI және QY параметрлерінің физиологиялық өлшемдерін қолдануға болатындығын дәлелдеді. Осылайша, бұл әдістер қытайбұршақтың құрғақшылыққа төзімділігіне скрининг жасау кезінде қосымша маркерлер ретінде қолданылуы мүмкін.

**Кілт сөздер:** қытайбұршақ, коллекция, құрғақшылыққа төзімділік, фенотиптеу, суғарылатын, суғарылмайтын, NDVI, QY.

## EVALUATION OF NDVI AND QY VALUES FOR SCREENING A SOYBEAN COLLECTION FOR DROUGHT TOLERANCE

*S.V. Didorenko, candidate of biology sciences,  
department head of division legumes*

*LLC “Kazakh scientific research institute of agriculture and plant  
growing”,*

*A.A. Amangeldiyeva, master, junior researcher*

*LLC “Kazakh scientific research institute of agriculture and plant growing”*

*R.S. Yerzhebayeva, candidate of biology sciences,  
department head of biotechnology group*

*LLC “Kazakh scientific research institute of agriculture and plant growing”*

*A.I. Abugaliev, doctor of biology sciences, professor,  
department of analytical laboratories LLC “Kazakh scientific research  
institute of agriculture and plant growing”,*

## Summary

The article presents the results of analysis of NDVI and QY – soybean plant biomass accumulation indicators – which are measured with *Green Seeker* and *Fluor Pen 100* devices.

The studied soybean collection material was grown in conditions of southeast of Kazakhstan and had two treatments applied to it: soybean varieties were irrigated in one set of plots and left without irrigation in the other set of plots. Based on the evaluation of the growing season duration, depending on the sum of the positive temperatures accumulated during the growing season, the collection material of the irrigated plots was divided into 6 maturity groups and material of the non-irrigated plots was divided into 7 maturity groups.

To identify the drought-tolerant forms, the productivity indicators of the soybean varieties were evaluated.

In the absence of irrigation during vegetative period, the values of NDVI were in the range of 0.72-0.88 for drought-tolerant soybean samples, and in the range of 0.62-0.70 for the samples that are not drought-tolerant.

The QY levels for drought-tolerant soybean samples, in the absence of vegetative irrigation, were in the range of 0.68-0.71, and for the samples not tolerant to drought – in the range of 0.56-0.67.

Soybean samples of the collection had different levels of tolerance to the drought stress as reflected by NDVI and QY. The results of productivity evaluation were confirmed by measurements of the NDVI and QY, thus, it was demonstrated that these latter indicators can be used as additional markers in screening for drought tolerance.

**Key words:** soybean, collection, drought-tolerance, phenotyping, irrigated, non-irrigated, NDVI, QY.