

Оценка перспективных образцов сои по физиолого-биохимическим признакам засухоустойчивости

Александра Владимировна Казарина, Елена Александровна Атакова, Марина Николаевна Кинчарова

Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Поволжский научно-исследовательский институт селекции и семеноводства им. П.Н. Константинова, Самарская обл., п. Усть-Кинельский, Россия
kazarinaav@bk.ru

Аннотация. Методы ранней диагностики засухоустойчивости зернобобовых культур, основанные на физиологических индексах устойчивости к стрессу, имеют большое значение для ускоренной селекции засухоустойчивых линий сои. На базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН были проведены лабораторные эксперименты по оценке физиолого-биохимических показателей засухоустойчивости проростков перспективных образцов сои в условиях осмотического стресса. В результате изучения показателей прорастания семян в растворе сахарозы и морфофизиологической оценке проростков сортообразцов сои были выявлены образцы, обладающие высокой стартовой интенсивностью роста – 156/2014, Д-150 и сорт Южанка. Установлена сильная прямая зависимость между показателями прорастания семян на растворе сахарозы и индексом длины корешка ($r = 0,98$), между индексом длины корешка и динамикой накопления свободного пролина под воздействием стрессового фактора ($r = 0,76$). По данным комплексной оценки изучаемых образцов установлено, что наибольшее снижение ростовых процессов и наименьшее накопление свободного пролина отмечено образцов ВНИИОЗ-796/11 и Величава/2009. Образцы Д-150, 156/2014 и сорт Южанка выделены как наиболее засухоустойчивые.

Ключевые слова: соя; засухоустойчивость; пролин; раствор осмотика; всхожесть; физиологические индексы.

Для цитирования: Казарина А. В., Атакова Е. А., Кинчарова М. Н. Оценка перспективных образцов сои по физиолого-биохимическим признакам засухоустойчивости // Аграрный научный журнал. 2021. № 12. С. 18–22. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp18-22>.

AGRONOMY

Original article

Evaluation of prospective soybean samples by physiological and biochemical signs of dry resistance

Alexandra V. Kazarina, Elena A. Atakova, Marina N. Kincharova

Samara Federal Research Scientific Center RAS, Volga Scientific Research Institute of Selection and Seed-Growing named after P.N. Konstantinov, Samara Region, Ust-Kinelsky, Russia.
kazarinaav@bk.ru

Abstract. Methods for early diagnosis of drought tolerance in leguminous crops, based on the screening of physiological indices of resistance to stress, are of great importance for the accelerated selection of drought tolerant soybean lines. On the basis of the Volga NIIS, laboratory experiments were carried out to assess the physiological and biochemical parameters of drought resistance of seedlings of promising soybean samples under conditions of osmotic stress. As a result of studying the indicators of seed germination in a sucrose solution and morphophysiological assessment of seedlings of soybean varieties, samples with a high starting growth rate were identified - 156/2014, D-150 and variety Yuzhanka. A strong direct relationship was established between the indices of seed germination on sucrose solution and the index of root length ($r = 0.98$), between the index of root length and the dynamics of accumulation of free proline under the influence of a stress factor ($r = 0.76$). According to a comprehensive assessment of the studied samples, it was found that the greatest decrease in growth processes and the smallest accumulation of free proline were noted in samples VNIIOZ-796/11 and Velichava / 2009. Samples D-150, 156/2014 and variety Yuzhanka were identified as the most drought-resistant.

Keywords: soy; drought resistance; proline; osmotic solution; germination; physiological indices.

For citation: Kazarina A. V., Atakova E. A., Kincharova M. N. Evaluation of prospective soybean samples by physiological and biochemical signs of dry resistance // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(12): 18–22(In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i12pp18-22>.

Введение. В настоящее время Самарское Заволжье становится заметным регионом по производству сои. За последние годы в регионе существенно возросли площади под посевами сои [7, 8]. В контрастных природно-климатических условиях лесостепи Самарского Заволжья, с большой вероятностью засушливых лет, основным лимитирующим фактором формирования высоких урожаев сои является недостаток естественной влагообеспеченности. Соя – культура достаточно чувствительная к условиям среды, в годы с дефицитом осадков в критические периоды вегетации недобор урожая может составлять 30–40 %. Поэтому актуальной задачей селекции сои в регионе является создание засухоустойчивых сортов с высоким потенциалом продуктивности.

Методы ранней диагностики засухоустойчивости зернобобовых культур, основанные на скрининге физиологических индексов устойчивости к стрессу, имеют особое значение для ускоренной селекции засухоустойчивых линий сои [6, 12]. В ряде литературных источников подчеркивается необходимость комплексной оценки образцов по нескольким морфологическим и физиологическим маркерам [1, 5, 6, 10, 13].

На сегодняшний день наиболее распространенные и доступные методы массовой оценки устойчивости к засухе основаны на определении всхожести семян и развития проростков в растворах осмотиков, имитирующих недостаток влаги [2, 14]. Так, в работе Е.В. Головиной сорта сои дифференцированы по уровню устойчивости к засухе по показате-





лям всхожести семян в растворе сахарозы, отношению массы проростка в растворе сахарозы к величине этого показателя в контроле, проведена оценка водоудерживающей и водопоглащающей способности листьев. Установлена отрицательная корреляция между уровнем засухоустойчивости и отношением массы проростка в растворе осмотика [2]. В работе В.П. Петренко, Е.Ю. Кучеренко отмечается положительная корреляция между способностью семян сои прорасти в растворе осмотика и полевой устойчивостью к засухе [14]. Многими авторами приводятся сведения о возможности использования показателя содержания свободного пролина в различных органах растений при стрессе в качестве маркера защитных реакций растительного организма [1, 3, 6, 9, 12, 13]. В исследованиях Калупаева Ю.Е. установлена положительная корреляция между содержанием пролина и устойчивостью к засухе сельскохозяйственных культур [11].

А.А. Амангельдиева в исследованиях, проведенных в условиях Республики Казахстан, отмечает, что высокий уровень свободного пролина в листьях растений сои свидетельствует о более сильном влиянии стрессового фактора [1]. По утверждению А.Ф. Кириллова, более информативным является сравнение динамики изменения содержания пролина в корнях и листьях растений с усилением стресса [9]. В исследованиях С.А. Мамедова более устойчивые к засухе образцы яровой пшеницы показали наименьшую кратность превышения содержания пролина в листьях относительно контрольного варианта [13]. В работе Т. Ли, напротив, установлено, что в растениях сои менее чувствительных к водному стрессу уровень пролина повышается в большей степени по сравнению с неустойчивыми растениями [12]. Приведенные данные согласуются с результатами исследований механизмов засухоустойчивости растений, позволяющих поддерживать тургор и продолжать обмен веществ даже при низком водопотреблении, через протоплазматическую толерантность и синтез осмолитов.

В связи с этим цель наших исследований заключалась в оценке физиолого-биохимических показателей засухоустойчивости проростков перспективных образцов сои в условиях осмотического стресса в лабораторных условиях.

Методика исследований. Лабораторные эксперименты проводили на базе Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН.

Объектам исследований являлись шесть перспективных сортообразцов сои из контрольного питомника, выделяющихся по продуктивности в полевых условиях и районированный сорт Южанка, селекции Поволжского НИИСС – филиала СамНЦ РАН. Для лабораторной оценки прорастания семян использовали методику Н.Н. Кожушко [10].

Проращивание семян проводили в чашках Петри на фильтровальной бумаге, в четырехкратной повторности. Объем выборки семян каждого образца – 50 шт. Оценка засухоустойчивости образцов сои к дефициту влаги осуществляли в растворе сахарозы с осмотическим давлением 7 атм., контрольные варианты проращивали на дистиллированной воде. Проращивание проводили в термостате при температуре 20–21 °С. На седьмые сутки осуществляли подсчет проросших семян, к которым относили семена, давшие корешок минимальной длины.

Определяли показатель прорастания семян P , %, который составляет среднее количество проросших семян в растворе сахарозы a , выраженное в процентах от числа семян, проросших в контроле b :

$$P = (a/b) \cdot 100, \%$$

Чем выше процент прорастания семян в растворе осмотика, тем более засухоустойчив образец [14].

Проводили оценку морфометрических показателей проростков (длина корешка, длина ростка), в контрольном варианте (вода) и выращенных на растворе сахарозы. Используя средние показатели длины корней и ростков, вычисляли индексы длины корня и ростка, равные отношению соответствующих параметров проростков полученных на фоне стресса к контрольным показателям. Чем больше значение индекса, тем более устойчивым к засухе считается образец.

В ростках контрольных и опытных образцов определяли содержание свободного пролина по методу Bates et al. (1973) [20]. К 0,5 г сырой зеленой массы приливали 10 мл 3% раствора сульфацилловой кислоты 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 \pm 20 мл 6М фосфорной кислоты) и 2 мл ледяной уксусной кислоты, тщательно перемешивали и помещали на водяную баню на 1 час, а затем охлаждали. К реакционной смеси добавляли 4 мл толуола. Краситель переходил в верхний слой толуола и окрашивал его от слабо-розового до пурпурного в зависимости от концентрации пролина. Интенсивность окраски определяли на светофильтре при 520 нм в 5 кюветках. Содержание пролина определяли по калибровочной кривой, построенной по содержанию пролина в 2 мл от 0,0215 до 0,175 мг.

Статистическую обработку полученных экспериментальных данных выполняли по методике Б.А. Доспехова [4] с использованием MS Excel, пакета программ Statistica 10.

Результаты исследований. Способность семян формировать проростки в растворе осмотика свидетельствует о наследственной способности растений развиваться при ограниченном количестве влаги и о наличии значительной поглощающей силы, что обуславливает быстрое поглощение необходимого количества влаги и формирование более крепкой первичной корневой системы [5, 14]. Это крайне важно для дальнейшей жизнедеятельности растений в условиях засухи, таким образом, по качеству проростка можно прогнозировать засухоустойчивость на более поздних этапах [14, 16].

В контрольном варианте (вода) показатель всхожести изучаемых образцов слабо варьировал ($V = 3,2$ %) и составлял 88,0–94,0 % (табл. 1). В опытных вариантах с осмотическим давлением 7 атм. отмечено снижение всхожести семян, диапазон варьирования данного показателя составил 37,0–87,0 % ($V = 35,12$ %), что свидетельствует о различной реакции изучаемых образцов на воздействие стрессового фактора.

Согласно принятой классификации ВИР [5], изучаемые сортообразцы по показателю прорастания семян были дифференцированы на группы по устойчивости к водному стрессу: слабоустойчивые (проросло 21–40 %), к данной группе отнесен образец ВНИИОЗ-796/11 ($P = 39,8$ %); среднеустойчивые ($P = 41$ –60 %) – Дельта/2010 ($P = 45,0$ %), Величава/2009 ($P = 48,4$ %); с устойчивостью выше средней (61–80 %) – I-1/2016 ($P = 61,0$ %) и высокоустойчивые (81–100 %) – Д-150 ($P = 87,0$ %), 156/2014 ($P = 92,0$ %) и Южанка ($P = 93,0$ %).

Оценка морфометрических показателей проростков в контроле (вода) и растворе сахарозы, показала существенное угнетение ростовых процессов в условиях имитирующих засуху и увеличение изменчивости длины корешка и ростка между сортообразцами (табл. 2).

Показатели всхожести и прорастание семян в условиях осмотического стресса

Сортообразец	Всхожесть, %		Прорастание семян P, %
	контроль	7 атм.	
Южанка	94,0	87,0	93,0
ВНИИОЗ-796/11	93,0	37,0	39,8
156/2014	90,0	82,0	92,0
I-1/2016	88,0	53,0	61,0
Величава/2009	91,0	44,0	48,4
Д-150	88,0	76,0	87,0
Дельта/2010	91,0	41,0	45,0
Коэффициент вариации, %	3,20	35,12	35,24

Таблица 2

Влияние осмотического стресса на морфометрические показатели проростков образцов сои

Сортообразец	Длина корешка, см		Длина ростка, см		Индекс длины корешка	Индекс длины ростка
	контроль	7 атм.	контроль	7 атм.		
Южанка	13,0	9,9	11,5	2,4	0,76	0,21
ВНИИОЗ-796/11	10,2	4,2	6,1	1,0	0,41	0,16
156/2014	13,2	10,6	6,6	1,4	0,80	0,21
I-1/2016	12,2	7,4	10,3	1,2	0,61	0,12
Величава/2009	14,2	7,2	9,2	0,9	0,51	0,10
Д-150	13,4	10,8	11,2	1,9	0,81	0,17
Дельта/2010	11,2	5,6	10,2	1,4	0,50	0,14
Коэффициент вариации, %	11,1	33,0	23,1	36,6	26,6	25,0

В контрольных условиях наиболее интенсивным ростом корешков отличались сортообразцы Величава/2009 – 14,2 см, Д-150 – 13,4 см и 156/2014 – 13,2 см. Наибольшая длина ростка отмечена у сорта Южанка – 11,5 см и Д-150 – 11,2 см. В стрессовых условиях по длине корешка выделялись образцы 156/2014 – 10,6 см и Д-150 – 10,8 см, максимальная длина ростка отмечена у сорта Южанка – 2,4 см.

Двухфакторный дисперсионный анализ показал, что под воздействием стрессовых условий доля влияния генотипа на интенсивность развития ростка составляет всего 7,60 %, на долю стрессового фактора приходилось 87,11 % (табл. 3).

Таблица 3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показателя «длина ростка» образцов сои

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	F _{факт}	F ₀₅	Влияние фактора, %
Общая	750,44	41	–	–	
Повторений	0,27	2	–	–	0,04
Фактора А (влияние стресса)	653,73	1	2049,34	4,22	87,11
Фактор В (генотип)	57,05	6	29,81	2,47	7,60
Взаимодействия АВ	31,10	6	16,25	2,47	4,14
Остаток (ошибки)	8,29	26	–	–	1,11
HCP ₀₅ АВ = 0,95; HCP ₀₅ А = 0,36; HCP ₀₅ В = 0,67					

Длина корней в условиях осмотического давления составляла 4,2–10,8 см и характеризовалась значительным уровнем изменчивости (33,0 %). Вклад фактора «сорт» в данный признак составлял – 20,37 %, влияние стрессового фактора – 51,66 % (табл. 4). Таким образом, наибольшие различия между сортообразцами в условиях водного дефицита выявлены по показателю – длина корешка.

Таблица 4

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показателя «длина корня» образцов сои

Дисперсия	Сумма квадратов	Степени свободы	F _{факт}	F ₀₅	Влияние фактора, %
Общая	206,45	41	–	–	
Повторений	0,41	2	–	–	0,20
Фактора А (влияние стресса)	106,66	1	136,26	4,22	51,66
Фактор В (генотип)	42,05	6	9,02	2,57	20,37
Взаимодействия АВ	37,13	6	7,96	2,43	17,99
Остаток (ошибки)	20,20	26	–	–	9,79
HCP ₀₅ АВ = 1,48; HCP ₀₅ А = 0,56; HCP ₀₅ В = 1,05					

Для оценки степени снижения интенсивности ростовых процессов под воздействием водного дефицита использовали показатели индекса длины корней и ростков.

Вариабельность длины корней проростков сои в условиях осмотического стресса усиливались в большей степени, чем ростков, что свидетельствует о более высокой информативности показателя индекса длины корня для





группировки образцов по уровню засухоустойчивости [3], что подтверждается исследованиями устойчивости к абиотическим стрессорам, проведенными на других культурах [21].

Наибольшими индексами длины ростка и корешка характеризовались образцы Д-150, 156/2014 и сорт Южанка (0,81, 0,80 и 0,76 соответственно), они в меньшей степени угнетались в условиях водного стресса и были отнесены к группе засухоустойчивых. Образцы I-1/2016 с индексом длины корня 0,61, Дельта/2010 – 0,50 и Величава/2009 – 0,51 характеризовались средней устойчивостью к засухе. Наименьшую устойчивость к водному стрессу по показателю индекса длины корня проявил образец ВНИИОЗ-796/11 – 0,41.

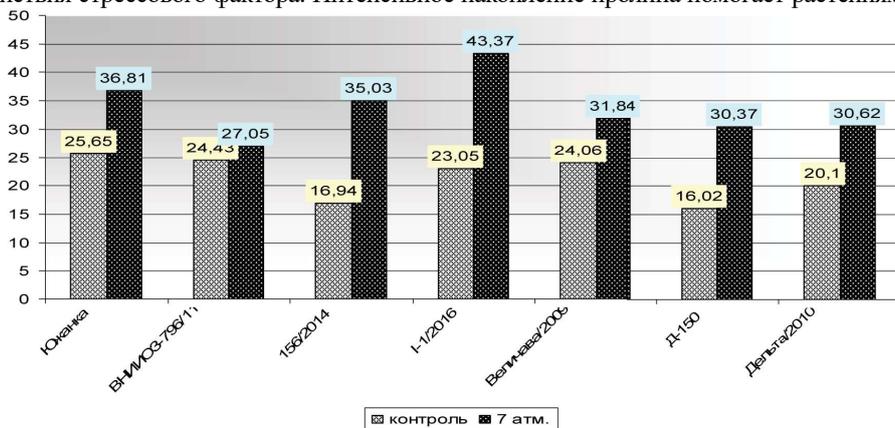
Таким образом, в результате изучения показателей прорастания семян в растворе сахарозы и морфофизиологической оценке проростков перспективных сортообразцов сои были выявлены образцы обладающие высокой стартовой интенсивностью роста – 156/2014, Д-150 и сорт Южанка. Выделенные сортообразцы оказались более устойчивыми к негативному воздействию дефицита влаги на начальном этапе онтогенеза и могут быть использованы в качестве исходного материала в селекционных программах.

Во многих исследованиях установлена связь между накоплением пролина и устойчивостью растений абиотическим стрессовым факторам [9, 12, 15, 19, 22, 23].

Аминокислота пролин признан одним из наиболее многофункциональных стрессовых метаболитов растений [15]. Пролин уменьшает осмотический стресс, участвует в передаче сигнала стресса, регулирует окислительно-восстановительный потенциал клетки [13, 18]. Увеличение содержания свободного пролина в растениях является общей физиологической реакцией на засуху, засоление, дефицит минерального питания и другие неблагоприятные воздействия [9, 11, 13].

В связи с этим при оценке засухоустойчивости сои мы рассматривали показатель интенсивности накопления свободного пролина в проростках вследствие воздействия стрессового фактора. Интенсивное накопление пролина помогает растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям, защищая от инактивации белки, ДНК, ряд ферментов и другие важнейшие компоненты [17, 19].

В наших опытах содержание пролина в проростках сои в контрольных составах составляло 16,02–25,65 мг% на сырую массу. У проростков выращенных на растворе сахарозы отмечен более высокий уровень содержания свободного пролина – 27,05–43,37 мг% на сырую массу. Самым высоким уровнем накопления пролина характеризовался образец I-1/2016, самым низким ВНИИОЗ-796/11 (см. рисунок).



Содержание свободного пролина в проростках сои, мг% на сырую массу

Таким образом, интенсивное увеличение содержания пролина в проростках сои при водном стрессе может служить маркером защитной реакции растений, а динамика колебаний содержания пролина в проростках может служить отображением устойчивости растительных клеток. Интенсивное накопление свободного пролина в проростках сои в условиях засухи по сравнению с благоприятными условиями (контроль) отмечено у образцов I-1/2016 (в 1,88 раза), Д-150 (в 1,90 раза) и 156/2014 (в 2,07 раза), что свидетельствует о повышенной реакции на водный стресс и последующей приспособляемостью к нему. Меньшая кратность повышения содержания свободного пролина относительно контрольного варианта была отмечена у образца ВНИИОЗ-796/11 (1,11 раза).

Установлена сильная прямая зависимость между показателями прорастания семян на растворе сахарозы и индексом длины корешка ($r = 0,98$), между индексом длины корешка и динамикой накопления свободного пролина под воздействием стрессового фактора ($r = 0,76$), следовательно, рассматриваемые методы оценки относительной засухоустойчивости позволяют дифференцировать образцы по степени реакции на водный стресс.

Заключение. Применение методики проращивания семян сои на растворе сахарозы с осмотическим давлением 7 атм. позволяет дать массовую оценку относительной засухоустойчивости изучаемых образцов. Изучение перспективных сортообразцов сои по морфофизиологическим и биохимическим маркерам засухоустойчивости на благоприятном и стрессовом фоне позволило выявить образцы с признаками ксероморфизма. По данным комплексной оценки изучаемых образцов установлено, что наибольшее снижение ростовых процессов и наименьшее накопление свободного пролина отмечено у образцов ВНИИОЗ-796/11 и Величава/2009, что говорит о большей подверженности водному стрессу. Образцы Д-150, 156/2014 и сорт Южанка выделены как наиболее засухоустойчивые. Данные сортообразцы целесообразно использовать в качестве исходного материала в селекционных программах на высокую продуктивность и устойчивость к водному стрессу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амангельдиева А. А., Даниярова А. К., Альчимбаева П. А., Анапиев Б. Б., Дидоренко С. В., Ержебаева Р. С. Оценка коллекционных образцов сои по анатомо-морфологическим и физиолого-биохимическим признакам засухоустойчивости // Вестник КазНУ. Серия биологическая [S.I.]. 2019. Т. 78. № 1. С. 88–98.
2. Головина Е.В. Сравнительное исследование засухоустойчивости новых сортов сои различными методами // Земледелие. 2018. № 4. С. 33–35.
3. Дзюбенко Н. И., Дук О. В., Малышев Л. Л., Просвирин Ю. А., Косарева И. А. Скрининг образцов белого и желтого донника (*Melilotus Adans.*) на устойчивость к хлоридному засолению // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 6. С. 1294–1302.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М., 1985. 351 с.
5. Дроздов С. Н., Удовенко Г. В. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. М., 1988. С. 10–11.

6. Ержебаева Р. С., Дидоренко С. В., Кудайбергенов М. С., Даниярова А. К. Поиск источников засухоустойчивости среди новой коллекции сои (GLYCINE MAX) в условиях Юго-востока Казахстана // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2019. № 3 (31). С. 63–73.
7. Казарина А. В., Казарин В. Ф., Атакова Е. А. Оценка урожайности и параметров адаптивности новых сортов сои в неорошаемых условиях лесостепи Самарского Заволжья // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 12. С. 57–62.
8. Казарина А. В., Атакова Е. А. Оценка экологической пластичности и стабильности селекционного материала сои в неорошаемых условиях Самарского Заволжья // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 12. С. 14–18.
9. Кириллов А. Ф., Козымик Р. А., Дасколюк А. П., Кузнецова Н. А., Харчук О. А. Оценка содержания пролина в растениях сои при воздействии засухи засоления // *Доклады по экологическому почвоведению*. 2013. № 1. Вып. 18. С. 194–201.
10. Кожушко Н. Н. Оценка засухоустойчивости полевых культур. Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям. Л., 1988. С. 10–24.
11. Колупаев Ю. Е., Вайнер А. А., Ястреб Т. О. Проллин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях // *Вестник Харьковского Национального аграрного университета. Серия биология*. 2014. Вып. 2 (32). С. 6–22.
12. 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.
13. Мамедова С. А., Ибрагимова З. Ш., Алиев Р. Т. Оценка устойчивости различных образцов пшеницы к старению, засухе и засолению // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2018. № 12. С. 84–87.
14. Петренкова В. П., Кучеренко Е. Ю. Оценка сортов сои по устойчивости к засухе // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. № 2. С. 20–23.
15. Пonomarev С. Н., Гильмуллина Л. Ф., Пономарева М. Л., Тагиров М. Ш., Маннапова Г. С. Динамика содержания пролина и легкорастворимых углеводов у сортов озимой тритикале в зимний период // *Земледелие*. 2015. № 8. С. 42–45.
16. Практикум по росту и устойчивости растений / В. В. Полевой [и др.]; под ред. В.В. Полевого, Т.В. Чирковой. СПб., 2001. 212 с.
17. Тимофеева О. А., Невмержицкая Ю. Ю. Клональное микроразмножение растений. Казань, 2012. 56 с.
18. Шевякова Н. И., Бакулина Е. А., Кузнецов В. В. Антиоксидантная роль пролина у галофита хрустальной травки при действии засоления и парахвата, инициирующих окислительный стресс // *Физиология растений*. 2009. Т. 56. № 5. С. 736–742.
19. Шихалева Г. Н., Будняк А. К., Шихалеев И. И., Иващенко О. Л. Модифицированная методика определения пролина в растительных объектах // *Вестник Харьковского национального университета имени А.Н. Каразина*. 2014. Вып. 21. № 1112. С. 168–172.
20. Bates L. S., Waldren R. P., Teore I. D. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies // *Plant Soil*. 1973. Vol. 39. P. 205–207.
21. Mugwira L. M., Edgawhary S. M., Patel S. U. Aluminium tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminium concentration // *Plant Soil*. 1978. 50(1-3). P. 681–690.

REFERENCES

1. Amangeldieva A. A., Daniyarova A. K., Alchimbaeva P. A., Anapiyaev B. B., Didorenko S. V., Erzhebaeva R. S. Assessment of collection samples of soybeans by anatomical-morphological and physiological-biochemical signs of drought resistance. *Bulletin of KazNU. Biological series*. 2019; 78; 1: 88–98.
2. Golovina E. V. Comparative study of drought resistance of new soybean varieties by different methods. *Agriculture*. 2018; 4: 33–35.
3. Dzyubenko N. I., Duc O. V., Malyshev L. L., Prosvirin Yu. A., Kosareva I. A. Screening of samples of white and yellow melilotus (*Melilotus Adans.*) For resistance to chloride salinization. *Agricultural biology*. 2018; 53; 6: 1294-1302.
4. Dospikhov B. A. Field experiment technique. Moscow, 1985. 351 p.
5. Drozdov S. N., Udovenko G. V. Diagnostics of plant resistance to stress. Moscow, 1988: 10–11.
6. Yezhebaeva R. S., Didorenko S. V., Kudaibergenov M. S., Daniyarova A. K. Search for sources of drought resistance among the new collection of soybeans (GLYCINE MAX) in the conditions of the South-East of Kazakhstan. *Legumes and cereals*. 2019; 3 (31): 63–73.
7. Kazarina A. V., Kazarin V. F., Atakova E. A. Assessment of productivity and parameters of adaptability of new varieties of soybeans in non-irrigated conditions of the forest-steppe of the Samara Trans-Volga region. *Success of modern natural science*. 2018; 12: 57–62.
8. Kazarina A. V., Atakova E. A. Assessment of ecological plasticity and stability of soybean breeding material in non-irrigated conditions of the Samara Trans-Volga region. *Agrarian scientific journal*. 2020; 12: 14–18.
9. Kirillov A. F., Kozmik R. A., Daskolyuk A. P., Kuznetsova N. A., Kharchuk O. A. Evaluation of proline content in soybean plants under the influence of drought and salinity. *Reports on ecological soil science*. 2013; 1; 18: 194–201.
10. Kozhushko N. N. Assessment of drought resistance of field crops. Diagnostics of plant resistance to stress. Leningrad, 1988: 10–24.
11. Kolupaev Yu. E., Vainer A. A., Yastreba T. O. Proline: physiological functions and regulation of content in plants under stressful conditions. *Bulletin of the Kharkiv National Agrarian University. Biology series*. 2014; 2 (32): 6–22.
12. Lee T., Didorenko S., Orazbaeva U., Spankulova Z., Tashkenova A., Birimzhanova Z. Biochemical indices of drought resistance of soybeans. *Biotechnology. Theory and practice*. 2013; 3: 35–40.
13. Mamedova S. A., Ibragimova Z. Sh., Aliev R. T. Assessment of the resistance of various wheat samples to aging, drought and salinity. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018; 12: 84–87.
14. Petrenkova V. P., Kucherenko E. Yu. Assessment of soybean varieties for drought resistance. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*. 2017; 2: 20–23.
15. Ponomarev S. N., Gilmullina L. F., Ponomareva M. L., Tagirov M. Sh., Mannapova G. S. Dynamics of the content of proline and readily soluble carbohydrates in varieties of winter triticale in winter. *Agriculture*. 2015; 8: 42–45.
16. Workshop on plant growth and resistance / V. V. Polevoy et al.; ed. V. V. Polevoy, T. V. Chirkova. Saint Petersburg, 2001. 212 p.
17. Timofeeva O. A., Nevmerzhitskaya Yu. Yu. Clonal micropropagation of plants. Kazan, 2012. 56 p.
18. Shevyakova N. I., Bakulina E. A., Kuznetsov V. V. Antioxidant role of proline in halophyte of crystal grass under the action of salinity and paraquat, initiating oxidative stress. *Plant physiology*. 2009; 56; 5: 736–742.
19. Shikhaleeva G. N., Budnyak A. K., Shikhaleev I. I., Ivashchenko O. L. Modified method for determining proline in plant objects. *Bulletin of A.N. Karazin*. 2014; 21; 1112: P. 168–172.
20. Bates L. S., Waldren R. P., Teore I. D. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. *Plant Soil*. 1973; 39: 205–207.
21. Mugwira L. M., Edgawhary S. M., Patel S. U. Aluminium tolerance in triticale, wheat and rye as measured by root growth characteristics and aluminium concentration. *Plant Soil*. 1978; 50(1-3): 681–690.

Статья поступила в редакцию 29.06.2021; одобрена после рецензирования 04.07.2021; принята к публикации 15.07.2021.
The article was submitted 29.06.2021; approved after reviewing 04.07.2021; accepted for publication 15.07.2021.

