

Шек Г.О.¹, Есимсеитова А.К.¹
Жаныбекова Ж.Т.¹, Бабкенов А.Т.²
Дюсембекова Д.А.¹, Шелаева Т.В.², Какимжанова А.А.¹

¹Национальный центр биотехнологии, Казахстан, Нур-Султан, Казахстан

²Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева,
п. Шортанды, Казахстан

(E-mail: sheckgo@mail.ru, asel_1388@bk.ru, zhanargul.zhanybekova@mail.ru, babkenov64@mail.ru, dusembekova.damira@mail.ru, kakimzhanova@biocenter.kz)

Получение засухоустойчивых растений-регенерантов яровой мягкой пшеницы

Аннотация: Одной из причин снижения качества зерна являются изменение природно-климатических условий в Казахстане. К ним следует отнести нарастающую угрозу засух и заморозков в период вегетации пшеницы, усиление ветров и контрастности климата на фоне деградации почв (засоление, опустынивание) в результате нерационального использования и нарушения экологического равновесия в биоценозе. Целью работы было получение растений-регенерантов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе в культуре *in vitro*, и их размножение для получения семенного потомства. Ввели в культуру *in vitro* 10 отечественных сортов яровой мягкой пшеницы. При проведении клеточной селекции морфогенные каллусные ткани пшеницы культивировали на питательную среду МС, с добавлением оптимальных концентраций селективных агентов: полиэтиленгликоль 6000 – 5%; маннит – 2%; NaCl – 0,5%. Определяли регенерационную способность генотипов пшеницы. Морфогенетический потенциал был выше у 10 сортов при использовании 2% маннита и 5% полиэтиленгликоля, что составило 44,2% и 38,9% соответственно, что характеризует их адаптационные способности к засухе в условиях *in vitro*. Получено семенное потомство R₀-R₁ линий-регенерантов пшеницы. Проведен структурный анализ растений-регенерантов, полученных с селективных агентов маннит 2%, NaCl 0,5% и полиэтиленгликоль 5%. На основании проведенных экспериментов выделены наиболее засухоустойчивые растения-регенеранты и получено семенное потомство R₁.

Ключевые слова: клеточная селекция, растения-регенеранты, засухоустойчивость, линии яровой мягкой пшеницы

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7034-2020-133-4-53-68>

Одним из основных источников развития экономики страны является агропромышленный комплекс, Казахстан входит в 10-ку стран в мире по выращиванию пшеницы. Это стало возможно благодаря двум основным факторам: плодородные почвы и климат. Основной регион производства пшеницы расположен в северных, центральных регионах, где рельеф в основном плоский, почвы представлены продуктивными черноземами и каштановыми почвами, на которых произрастает около 70% общего урожая пшеницы в стране. В Казахстане возделывают два вида пшеницы это: мягкая (*Triticum aestivum* L.) и твёрдая (*Triticum durum* D.). Климат страны полузасушливый, обычно с теплым летом и холодной зимой. Это благоприятные условия для нормального развития и получения качественной пшеницы. Засухи встречаются в среднем

по 2 года из 5, благодаря этому в северных районах выращивают твердую пшеницу высокого качества, этот вид пшеницы хорошо переносит засухи [1].

Пшеница одна из крупнейших продовольственных культур в мире, основная зерновая культура, возделываемая в Казахстане [2]. Роль производства пшеницы для страны огромна, климатические условия и благоприятные почвы северного Казахстана, превосходно подходят для ее возделывания. Так в 2017 году, в Казахстане было собрано 14802,9 тыс. тонн пшеницы, из них на Северо-Казахстанскую, Акмолинскую и Костанайскую области приходится 11874,7 тыс. тонн пшеницы [3].

В связи с тем, что производство пшеницы играет важную роль в экономике Казахстана, необходимо повышать качество и урожайность пшеницы для более эффективного использования.

На протяжении всей истории доместикации пшеницы, производился отбор по внешним признакам, по урожайности, который привел к снижению генетического разнообразия [4]. Этот подход требует многолетних испытаний, поскольку во многих регионах засуха нерегулярна. Проблема состоит в том, что селекционный процесс требует отбраковки растений по результатам одного года испытаний. Использование физиологических признаков, наряду с селекцией по урожайности может позволить вести отбор в отсутствие засухи. Поэтому проводятся многочисленные исследования возможности отбора засухоустойчивых растений по физиологическим признакам [5, 6, 7]. Также с развитием селекции и биотехнологии были разработаны новые методы создания сортов с необходимыми ценными признаками, такими как устойчивость к неблагоприятным условиям окружающей среды и устойчивость к различным болезням.

Использование *in vitro* техник позволяет в короткие сроки получать линии пшеницы с необходимыми признаками. Для индукции в культуру *in vitro* могут быть использованы незрелые и зрелые зародыши, пыльники, соцветия, апикальные меристемы [8].

In vitro культура клеток и тканей дает возможность увеличить генетическую вариабельность для последующих физиологических исследований. В исследованиях *in vitro* на коэффициент каллусообразования и регенерации влияет генотип, тип экспланта, качество исходного материала, состав питательной среды и общее взаимодействие между ними. Для регенерации наиболее предпочтительным является использование в качестве экспланта незрелых зародышей, однако из-за сезонности данный тип экспланта нельзя использовать круглогодично в отличие от зрелых зародышей, в то время как зрелые зародыши можно хранить в течение нескольких лет, однако коэффициент регенерации у них меньше.

Состав питательной среды, регуляторы роста и добавки основные факторы, влияющие на инициацию *in vitro* культуры [9]. Для индукции каллусообразования наиболее часто применяют ауксины 2,4-Д, дикамба и пиклорам, одними или с добавлением цитокининов. Также стадия каллусообразования сильно зависит от генотипа. Для пшеницы использование культуры *in vitro* эффективно для создания сортов с признаками устойчивости к различным болезням и абиотическим факторам окружающей среды [10].

Так, известно, что при применении техники *in vitro* культуры высока вероятность возникновения соматоклональных вариаций, однако отмечается, что данные изменения приносят генетическую вариабельность, которая может быть мощным толчком в создании устойчивых к засухе, холоду, засоленности растений и т.д. В одном исследовании по созданию сортов *Triticum durum* устойчивых к засухе, в питательную среду для каллусообразования добавляли ПЭГ, для создания осмотического стресса. Они проверяли наличие соматоклональных вариаций по устьичному аппарату, так, закрытие устьиц является одним из первых признаков у пшеницы, находящейся в условиях засухи. В результате исследований было отмечено, что в линиях с соматоклональными вариациями стадия цветения наступает позже, и что позднее цветение из-за осмотического стресса приводит к формированию большего числа зерен. Таким способом, растение пытается

избежать сильных повреждений от стресса, накопив ресурсы и время. Показано, что наличие соматональных вариаций улучшили качества пшеницы [11].

Соматический эмбриогенез и регенерация являются ключевыми этапами для получения фертильных растений [12].

Вся культивируемая пшеница принадлежит к роду *Triticum*, существуют диплоидные, тетраплоидные и гексаплоидные формы, с базовым числом хромосом равным 7. Так, геномы будут выглядеть как AA, AABB, AABBDD, гаплоидные формы будут выглядеть как A, AB, ABD с набором 7, 14, 21 соответственно. Гаплоидные формы могут спонтанно возникнуть в природе, однако такое явление редко и имеет низкую практическую ценность. Исследователями были разработаны технологии для создания гаплоидных форм с последующим удвоением генома [13]. На сегодняшний день хорошо изучены три различные техники получения дигаплоидов; через кукурузу, культура пыльников и изолированные микроспоры [14, 15]. Для использования в гаплоидной технологии исходный материал должен быть генетически стабильным и отборанным по необходимым признакам. Так, при использовании традиционных методов селекции для выведения сорта необходимо 5 поколений, то при использовании метода гаплоидной технологии необходима только одно поколение и необходимый нам признак будет закреплен [13].

В настоящее время актуально создание новых сортов сельскохозяйственных культур с повышенной толерантностью к засухе, засолению, болезням и вредителям, которые могут давать стабильные урожаи при наименьшем водопотреблении. Для создания таких сортов следует использовать не только методы классической селекции, но и методы биотехнологии. Преимущества биотехнологических методов очевидны: они близки к естественному отбору для растений в экстремальных условиях и выявлению адаптационных возможностей имеющихся сортов и гибридов.

В качестве осмотических агентов для создания линий устойчивых к засухе некоторые ученые используют ПЭГ, маннит, сахарозу. Однако, ПЭГ с высоким молекулярным весом непроницающий осмотический агент, который не проникает в апопласт, поэтому вода выводится не только из клетки, но также из клеточной стенки создавая снижения водного потенциала, похожий на высушенную почву, также ПЭГ является наименее фитотоксичным [16, 17, 18, 19].

Для формирования осмотического стресса используют различные концентрации ПЭГ-6000, однако в некоторых исследованиях было установлено что, большие концентрации летальны для зародышей пшеницы [20, 21]. В одном из исследований было показано, что оптимальной концентрацией ПЭГ в культуре *in vitro* является 5% ПЭГ [22].

Целью данной работы являлось получение растений-регенерантов яровой мягкой пшеницы на устойчивость к засухе в культуре *in vitro*, и их размножение для получения семенного потомства. В этом исследовании мы сообщаем о получении семенного потомства R₁ растений-регенерантов пшеницы с физиологической устойчивостью к засухе. Полученные растения-регенеранты с устойчивостью к селективным агентам в дальнейшем будут размножены и генотипы с лучшими показателями будут внедрены в селекционный процесс.

Материалы и методы. В качестве исходного материала использовали 10 отечественных сортов яровой мягкой пшеницы: Акмола 2, Астана, Шортандинская 95 ул, Целина 50, Астана 2, Орал, Тәуелсіздік 20, Асыл Сапа, Шортандинская 2012, Шортандинская 2014, которые были предоставлены Научно-производственным центром зернового хозяйства им. А.И. Бараева.

Для введения *in vitro* сортов яровой мягкой пшеницы использовали следующие методы – стерилизация и введение эксплантов в культуру *in vitro*, культивирование клеточных линий и регенерация растений [23, 24].

Для каллусообразования использовали питательную среду Мурасиге и Скуга, с добавлением тиамина HCl – 1 мг/л, мезо-инозита – 100 мг/л, сахарозы – 30 г/л, агара – 7 г/л, 2,4-Д – 3 мг/л, рН среды доводили до значения 5,8. При проведении клеточной селекции морфогенные кал-

лусные ткани пшеницы культивировали на питательную среду МС, с добавлением оптимальных концентраций селективных агентов: полиэтиленгликоль 6000 (ПЭГ) – 5%; маннит – 2%; NaCl – 0,5%.

Определяли регенерационную способность генотипов пшеницы. Отбирались устойчивые морфогенные каллусные ткани пшеницы, которые культивировали *in vitro* на среде МС с фитогормонами (ИУК 0,5 мг/л и кинетин 1,5 мг/л). Пробирочные каллусные линии выращивали в оранжерее в условиях 16-часового светового дня (освещенностью 3000 лк) при температуре 26°C и влажности 70%. Высаживали укорененные пробирочные растения пшеницы в смеси торфа с землей в соотношении 4:1. Полив и опрыскивание проводили по мере подсушивания субстрата. Рыхление проводили после полива один раз в 14-20 дней. Растения выращивали при температуре от 16 до 26°C с влажностью воздуха 50-60% и 16-часовым фотопериодом (освещенностью 3000 лк).

Проводили структурный анализ растений-регенерантов полученных с селективных агентов маннит 2%, NaCl 0,5% и ПЭГ 5%. Получены средние значения по следующим показателям: высота растений, длина колоса, число колосков в колосе, число зерен в колосе и их стандартные ошибки. Статистическую обработку данных проводили согласно общепринятым методам с помощью встроенного статистического пакета EXCEL (MS OFFICE 2010).

Результаты и обсуждение. Адаптивные механизмы растений к абиотическим стрессовым воздействиям разнообразны. В тоже время, вопрос об ответных реакциях растений на повреждающее действие стрессов окончательно не выяснен, так как на любое воздействие растительный организм отвечает целым веером защитно-приспособительных реакций. Значительное место в решении проблем адаптации занимает клеточная селекция, основанная на отборе клеточных популяций, устойчивых к селективному фактору, и регенерации из них целых растений [25, 26, 27].

Авторами при использовании селективной системы с применением маннита для создания засухоустойчивых растений сахарной свеклы была выбрана оптимальная концентрация маннита для изучаемых двух видов эксплантов: микроклонов 0,40-0,45М и для зрелых зародышей семян 0,45-0,50М. Так, при концентрации маннита от 0,25 до 0,35М, у микроклонов наблюдали пожелтение листьев и небольшое снижение роста при их выживаемости 65-79%. При увеличении концентрации селективного агента до 0,50 и 0,60М выявлено угнетение роста и массовая гибель регенерантов, вызванная некрозом листьев [28].

Для изучения адаптационной способности яровой мягкой пшеницы к засухе и засолению культивировано 1468 зрелых зародышей 10 сортов на селективные среды: МС (контроль), МС с 2% маннитом, МС с 0,5% NaCl, МС с 5% ПЭГ 6000. Получено с селективных сред 560 морфогенных каллусных линий пшеницы. В среднем процент морфогенеза на питательной среде МС (контроль) у 10 сортов пшеницы составил 60,5% (рисунок 1).

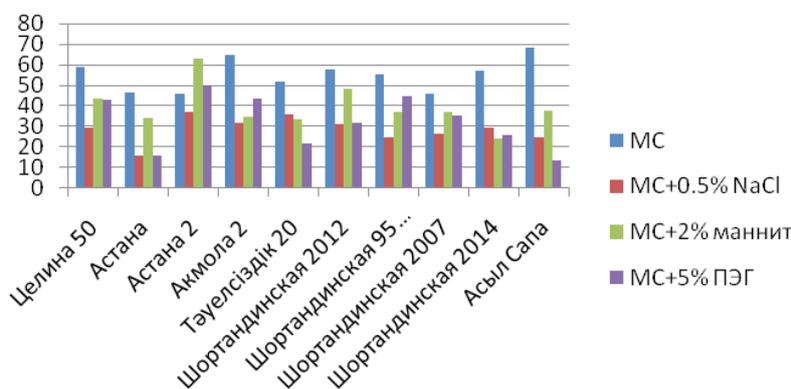


Рисунок 1 – Процент морфогенеза на селективных средах у 10 сортов пшеницы

Для получения устойчивых к осмотическому стрессу каллусов сои был использован селективный агент ПЭГ-6000 в возрастающих концентрациях – 5%, 10%, 15% и 20%. В результате получено 6 устойчивых к осмотическому стрессу растений-регенерантов сои. Регенерация из каллуса отмечена только у 8,3% из высаженных каллусов, исследователи связывают это с длительностью пассирования каллуса и низким морфогенетическим потенциалом [29].

При добавлении в питательную среду МС селективного агента 0,5% NaCl процент морфогенеза снизился до 32,8%. Морфогенетический потенциал был выше у 10 сортов при использовании 2% маннита и 5% ПЭГ, что составило 44,2% и 38,9% соответственно, что характеризует их адаптационные способности к засухе в условиях *in vitro*. Каллусные линии сортов Акмола 2, Астана 2, Целина 50 и Шортандинская 95 ул. были устойчивыми к недостатку влаги в питательной среде МС с селективными агентами 2% маннит и 5% ПЭГ.

В результате проведения клеточной селекции на устойчивость к засухе и засолению из 10 сортов яровой мягкой пшеницы Северо-Казахстанской селекции получены 496 растений-регенерантов в культуре *in vitro* (таблица 1). Разные генотипы яровой мягкой пшеницы значительно различались по реакции на селективные агенты (МС с 2% маннитом, МС с 5% ПЭГ, МС с 0,5% NaCl) в культуре *in vitro*.

Авторами проведена биохимическая и физиологическая оценка растений-регенерантов ячменя, полученных в селективных системах. Так, частота выживания каллусов снижалась на 15,6-23% по сравнению с контролем при добавлении селективного агента ПЭГ 10% в питательную среду. В результате получены устойчивые каллусные линии ячменя, способные к регенерации, которая определялись генотипом исходного растения [30].

В наших исследованиях у сортов Шортандинская 2012, Целина 50 и Шортандинская 2007 и Астана 2 наблюдали наибольший выход пробирочных растений-регенерантов: 111, 96, 69 и 65 штук соответственно. Наиболее заметно количество пробирочных растений-регенерантов устойчивых к манниту у сортов Шортандинская 2012 – 33 штук, Целина 50 – 27 штук, Астана 2 – 28 штук и Шортандинская 2007 – 21 штук. У сортов Асыл сапа, Шортандинская 95 улучшенная и Акмола 2 наблюдали наибольшую гибель растений-регенерантов на всех трех селективных агентах.

Сообщается об аналогичных результатах [31], где отмечена высокая отзывчивость 13 родительских генотипов яровой мягкой пшеницы, только 3 оказались неустойчивыми к ПЭГ 6000 в культуре *in vitro*. По мнению автора, данные генотипы могут быть использованы для создания засухоустойчивых гибридных линий и включаться в селекционный процесс на засухоустойчивость в качестве исходных форм.

Таблица 1 – Количество пробирочных растений-регенерантов, полученных на селективных средах у 10 сортов яровой мягкой пшеницы (2019 г.)

Генотип	Количество растений-растений <i>in vitro</i> , штук				
	МС (контроль)	МС с 2% маннит	МС с 5% ПЭГ	МС с 0,5% NaCl	Итого
Акмола 2	7	1	1	3	12
Астана	10	12	5	1	28
Астана 2	32	28	1	4	65
Шортандинская 95 ул.	10	6	1	1	18
Шортандинская 2007	28	21	8	12	69
Шортандинская 2012	45	33	15	18	111

Шортандинская 2014	10	8	7	6	31
Асыл сапа	15	9	6	3	33
Целина 50	36	27	18	15	96
Тәуелсіздік 20	11	12	1	9	33

Таким образом, среди исследуемого материала яровой мягкой пшеницы можно выделить генотипы, которые в использованных условиях культивирования на селективных агентах показали высокую (Шортандинская 2012, Целина 50, Шортандинская 2007 и Астана 2), среднюю (Тәуелсіздік 20, Шортандинская 2014, Астана и Асыл сапа) и низкую (Шортандинская 95 улучшенная и Акмола 2) отзывчивость на культуру *in vitro* (рисунок 2).



1



2



3



4

1, 2 – растения-регенеранты *in vitro*; 3,4 – растения-регенеранты, в условиях оранжереи
Рисунок 2 – Получение растений-регенерантов пшеницы с селективных сред

Затем полученные растения-регенеранты со сформировавшейся корневой системой высаживали в горшки с почвой в оранжерее. Из 496 растений-регенерантов, полученных в культуре *in vitro*, удалось получить и высадить в почву 200 растений-регенерантов, среди которых можно выделить следующие генотипы: Шортандинская 2012 и Целина 50, у которых был получен наибольший выход количества растений. В результате получено и доведено до семенного потомства R_0 поколения 78 регенеранта на среде МС (контроль) и 122 регенеранта на селективных средах. Данные результаты, могут косвенно говорить о высокой засухо- и солеустойчивости растений-регенерантов, выделенных из каллусных линий, которые в последующем могут быть использованы в селекционном процессе для создания новых форм (таблица 3).

Таким образом, получено 122 растений-регенерантов из 10 сортов в поколении R_0 , устойчивых к селективным факторам: 2% манниту – 54 регенерантов, 5% ПЭГ – 31 регенерантов, 0,5% NaCl – 37 регенерантов.

Таблица 3 – Количество растений-регенерантов, высаженных в почвогрунт для получения семенного потомства R0 (2020 г.)

Генотип	Количество растений-регенерантов, высаженных в почвогрунт			
	МС (контроль)	МС с 2% маннит	МС с 5% ПЭГ	МС с 0,5% NaCl
Акмола 2	6	2	3	8
Астана	5	-	-	5
Астана 2	11	9	2	4
Шортандинская 95 ул.	6	2	-	-
Шортандинская 2007	4	4	-	3
Шортандинская 2012	18	20	2	8
Шортандинская 2014	3	2	2	-
Асыл сапа	9	7	6	3
Целина 50	9	8	15	1
Тәуелсіздік 20	7	-	1	5
Итого	78	54	31	37

Полученные растения-регенеранты адаптировали *in vivo* в условиях оранжереи до фазы выхода в трубку, во время которой происходит интенсивное нарастание вегетативной массы и формирование генеративных органов. В этот период необходимо обеспечить растение максимумом воды, так как ее недостаток приводит к значительному снижению урожайности. Благоприятные условия в оранжерее (оптимальная температура и достаточное количество света) ускорили рост стебля растений пшеницы. В последующем растения пшеницы были перенесены в условия пленочной теплицы до последующего полного их созревания (рисунок 3).



1



2

1 – растения-регенеранты в оранжерее; 2 – растения-регенеранты в теплице

Рисунок 3 – Растения-регенеранты пшеницы в условиях *in vivo*

Аналогичным образом, другие авторы также использовали в клеточной селекции на устойчивость к засухе селективные агенты ПЭГ и оксипролин для получения регенерантов гороха, анализ морфологических признаков показал, что все линии двух сортов из пяти изученных, оказались короткостебельными в сравнении с исходным сортом. По семенной продуктивности, полученные линии-регенеранты были на уровне исходного сорта. Результаты показывают, что полученные линии могут использоваться при создании засухоустойчивых вариантов гороха [32].

В результате исследований в конце вегетации нами был проведен структурный анализ растений пшеницы, полученных с селективных агентов: 2% маннит, 0,5% NaCl и ПЭГ 5%. Высоту растений, длину колоса определяли с помощью линейки. Также производили подсчет числа колосков и числа зерен в колосе. В таблице показаны средние данные со стандартной ошиб-

кой (таблица 5, 6, 7). В результате проведения структурного анализа по среде с 2% маннитом были выявлены следующие результаты: высота растений варьировала от 25 до 70,4 см. У растений-регенерантов из сорта Шортандинская 2014 этот показатель был выше по сравнению с другими сортами в среднем составил 74,0 см, длина колоса - 7,0 см, число колосков в колосе - 8,0 штук. При этом показатель число зерен в колосе был низким по сравнению с другими растениями-регенерантами. Лучшие показатели наблюдали растений-регенерантов из сорта Астана, где высота растений в среднем составила 54,9 см, а число зерен в колосе – 16,4 штук.

Также элементы продуктивности яровой мягкой пшеницы – величины непостоянные и изменяются в зависимости от почвенно-климатических, агротехнических и других условий, как сообщается в исследованиях Пушкарева Д.В. [33].

Кроме того, потенциальный уровень продуктивности колоса пшеницы зависит от числа колосков. Количество зерен в колосе и масса зерна с одного колоса тем больше, чем больше количество колосков [34].

Таблица 5 - Структурный анализ растений-регенерантов со среды 2% маннит поколения R₀

Наименование растений-регенерантов	Растения, штук	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, штук	Число зерен в колосе, штук
Шортандинская 2007	2	25,0±0,8	1,0±0,3	2,0±0,1	1,0±0,3
Шортандинская 2012	6	39,3±14,6	3,3±1,6	5,2±0,8	5,3±3,2
Шортандинская 2014	2	74,0±3,7	7,0±0,2	8,0±0,2	3,0±0,1
Астана	17	54,9±5,5	6,3±1,8	10,4±3,2	16,4±7,3
Астана 2	2	49,0±9,9	8,50±2,1	11,0±4,2	14,0±11,3
Акмола 2	2	60,0±1,8	5,0±0,2	5,0±0,2	12,0±0,4
Асыл сапа	2	44,0±1,3	5,0±0,2	9,0±0,3	13,0±0,4
Целина 50	3	60,3±5,5	7,5±2,8	7,7±0,6	10,7±3,2

При проведении структурного анализа пшеницы с селективного агента ПЭГ, высота растений варьировала от 41,5 до 60 см. Выше этот показатель был у растений-регенерантов из сорта Шортандинская 2012. Число колосков в колосе варьировало от 6 до 17 штук. Наибольшее количество их было у растений-регенерантов из сорта Асыл сапа – 17 штук. При этом число зерен в колосе у растений-регенерантов из сорта Акмола 2, Астана 2 и Шортандинская 2012 было 17 штук, у растений-регенерантов из сорта Целина 50 – 7 штук. Наименьший показатель числа зерен в колосе был у растений-регенерантов из сорта Асыл сапа – 3 штуки (таблица 6). Следовательно, лучшие показатели наблюдали у растений-регенерантов из сорта Акмола 2, где высота растений в среднем составила 58,3 см, число колосков в колосе – 9,8 штук, число зерен в колосе – 17,0 штук.

Таблица 6 - Структурный анализ растений-регенерантов со среды 5% ПЭГ поколения R₀

Наименование	Растения, штук	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, штук	Число зерен в колосе, штук
Целина 50	2	41,5±2,1	4,5±0,7	7,0±0,2	7,0±0,2
Акмола 2	4	58,3±15,8	5,3±0,6	9,8±2,6	17,0±4,3
Асыл сапа	2	57,0±1,7	8,0±0,2	17,0±0,5	3,0±0,1
Астана 2	2	49,0±1,5	5,5±0,2	12±0,4	17,0±0,5
Шортандинская 2012	2	60,0±1,8	7,5±0,2	6±0,2	17,0±0,5

В исследованиях Шуплецовоу О.Н. показано, что по сравнению с благоприятными условиями преимущество регенерантов относительно исходных сортов проявляется в большей степени на стрессовых фонах. Сорта, созданные на основе регенерантов, превосходят стандарт по урожайности, имеют высокую продуктивную кустистость (выше стандарта на 29-67,5 %) и плотный колос (выше стандарта на 4,5-6,6 %). Их преимущество обусловлено устойчивостью к полеганию, высоким уровнем выживаемости, всхожести и средообразующей активности корневой системы. Полученные данные будут использоваться для создания 15 линий ячменя, которые будут устойчивы к засухе и ионной токсичности кислых почв [35].

При проведении структурного анализа пшеницы с селективного агента 0,5% NaCl, высота растений варьировала от 47,0 до 60 см. Выше этот показатель был у растений-регенерантов из сорта Астана 2. Самый длинный колос был у сорта Астана 2, что составила 7,0 см, самый низкий у сорта Шортандинская 2007 – 3,5 см. Число колосков в колосе варьировало от 5 до 13 штук. Наибольшее количество их было у растений-регенерантов из сорта Астана 2 – 13 штук. При этом число зерен в колосе варьировало от 4,0 до 15 штук. Наименьший показатель число зерен в колосе был у растений-регенерантов из сорта Шортандинская 2007 – 4,0 штуки (таблица 6, рисунок 4).

Таблица 6 - Структурный анализ растений-регенерантов со среды 0,5% NaCl поколения R0

Наименование	Растения, штук	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, штук	Число зерен в колосе, штук
Шортандинская 2007	2	47,0±1,4	3,5±0,1	5,0±0,2	4,0±0,1
Шортандинская 2012	3	53,3±5,8	6,5±0,9	11,0±3,0	15,0±3,6
Астана 2	2	60,0±1,8	7,0±0,2	13,0±0,4	10,0±0,3
Астана	13	48,9±11,1	6,1±1,2	9,1±3,3	10,2±8,3
Акмола 2	7	54,7±7,5	5,6±2,0	10,6±2,8	11,7±5,8
Тәуелсіздік 20	4	47,0±3,9	5,5±1,3	9,0±3,4	10,8±3,3
Целина 50	2	54,0±1,6	5,0±0,2	10,0±0,3	15,0±0,5

Таким образом, лучшие показатели наблюдали у растений-регенерантов из сорта Шортандинская 2012, где высота растений в среднем составила 53,3 см, число колосков в колосе – 11,0 штук, число зерен в колосе – 15,0 штук.



1



2

1, 2 - растения-регенеранты,



3 – колосья растений-регенерантов
Рисунок 4 – Структурный анализ пшеницы поколения R1

В дальнейшем семена растений-регенерантов в поколении R_0 посеяли в горшки для размножения и получения семенного потомства R_1 . Выращены растения-регенеранты и получено семенное потомства R_1 из 6 сортов пшеницы на селективных и контрольных средах. Проведен структурный анализ полученных растений-регенерантов поколения R_1 . Так у растений-регенерантов из сорта Акмола 2 с 2% маннит наблюдали пустой колос и отсутствие семян в колосе. При этом у сорта Тәуелсіздік 20 с 0,5% NaCl получено два растения-регенеранта, длина колоса в среднем составило 4,8 см, числе зерен - 15,7 штук, наблюдали наибольшую массу зерна – 0,5 гр. (таблица 7).

Таблица 7 – Структурный анализ пшеницы с селективных сред поколения R_1

Наименование растения-регенеранта	Растения, штук	Длина колоса, см	Число колосков в колосе, штук	Число зерен в колосе, штук	Масса зерна, гр.
Акмола 2 с 0,5% NaCl	4	5,3	10,6	8,1	0,2
Акмола 2 с МС	3	6,4	12,5	11,6	0,3
Акмола 2 с 5% ПЭГ	2	6,9	14,0	10,0	0,2
Акмола 2 с 2% маннит	2	5,3	11,0	0	0
Астана 2 с 0,5% NaCl	4	7,8	14,9	12,9	0,3
Целина 50 с 2% маннит	2	5,5	12,0	7,2	0,2
Шортандинская 2012 с МС	2	5,6	11,5	6,7	0,1
Шортандинская 2012 с 2% маннит	2	5,2	10,6	1,3	0,03
Тәуелсіздік 20 с 0,5% NaCl	2	4,8	8,7	15,7	0,5

Заключение. В заключении следует отметить, что среди исследуемых сортов яровой мягкой пшеницы выделяются генотипы с высокой, средней и низкой отзывчивостью на культуру *in vitro*. Из 496 растений-регенерантов, полученных в культуре *in vitro*, удалось получить и высадить в почву 200 растений-регенерантов, среди которых можно выделить следующие генотипы: Шортандинская 2012 и Целина 50, у которых был получен наибольший выход пробирочных растений. В результате исследований в конце вегетации нами был проведен структурный анализ растений-регенерантов пшеницы в поколении R_0 , полученных с селективных агентов: 2% маннит, 0,5% NaCl и ПЭГ 5%. Получены лучшие показатели по высоте растений, по длине колоса, по числу колосков в колосе, по числу зерен в колосе у растений-регенерантов с 2% ман-

нита из сорта Астана, у растений-регенерантов с 5% ПЭГ из сорта Акмола 2, у растений-регенерантов с 0,5% NaCl из сорта Шортандинская 2012.

В дальнейшем семена растений-регенерантов в поколении R₀ посеяли в горшки для размножения и получения семенного потомства R₁. Выращены растения-регенеранты и получено семенное потомство R₁ из 6 сортов пшеницы на селективных и контрольных средах, которые в последующем могут быть использованы в селекционном процессе при создании новых форм.

Финансирование

Работа выполнена в рамках проекта «Трансферт и адаптация технологий по точному земледелию при производстве продукции растениеводства по принципу «демонстрационных хозяйств (полигонов)» в Акмолинской области на 2018-2020 гг.» при финансовой поддержке Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан.

Список литературы

- 1 Gomez S., Mary S., Langrell S. The Eurasian Wheat Belt and Food Security. – Switzerland: Springer International Publishing, 2017. – 319 p.
- 2 ГОСТ СТ РК 1046-2008. Пшеница Технические условия. Комитет по техническому регулированию и метрологии Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан. – Астана, 2008.
- 3 <http://stat.gov.kz>. Статистика сельского, лесного, охотничьего и рыбного хозяйства. – 2019.
- 4 Quarrie S.A., Stojanovic J., Pekic S. Improving drought resistance in small-grained cereals: a case study, progress and prospects // J. Plant Growth Regul. – 1999. – Vol. 29. – P.1-21.
- 5 Lee E.A., Tollenaar M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield // Crop Sci. – 2007. – Vol. 47, №3. – P. 202-215.
- 6 Reynolds M., Dreccer F., Trethowan R. Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces // J. Exp. Bot. – 2007. – Vol. 58. – P. 177-186.
- 7 Tardieu F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress // Comp. Rend. Geosci. – 2005. – Vol. 337. – P. 57-67.
- 8 He Y., Jones H.D., Chen S., Chen X.M., Wang D.W., Li K.X., Wang D.S., Xia L.Q. Agrobacterium-mediated transformation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum cv Stewart) with improved efficiency // Journal of experimental botany. – 2010. – Vol. 61. – P. 1567-1581.
- 9 Raziuddin, Swati Z. A., Bakht J., Farhatullah U. N., Shafi M., Hassan G. In situ assessment of morpho-physiological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to drought // Pakistan Journal of Botany. – 2010. – Vol. 42(5). – P. 3183-3195.
- 10 Chang Ch.M., Penna S., Bhagwat S.G. Callus induction and plant regeneration from different *Triticum* species // The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology. – 2012. – Vol. 6. – P. 56-62.
- 11 Bajji M., Bertin P., Lutts S., Kinet J.M. Evaluation of drought resistance-related traits in durum wheat somaclonal lines selected in vitro // Anim. Reprod. Sci. – 2004. – Vol. 44. – P. 27-35.
- 12 Munazir M. Qureshi R., Muhammad Ali G., Rashid U., Noor S., Mehmood K., Ali Sh., Arshad M. Primary callus induction, somatic embryogenesis and regeneration studies in selected elite wheat varieties from Pakistan // Pak. J. Bot. – 2010. – Vol. 42(6). – P. 3957-3965.
- 13 Tadesse W., Inagaki M., Tawkaz S., Baum M., Van Ginkel M. Recent advances and application of doubled haploid in wheat breeding // African Journal of Biotechnology. – 2012. – Vol. 11(89). – P. 15484-15492.
- 14 Гуторова О.В., Апанасова Н.В., Юдакова О.И. Создание генетически маркированных линий кукурузы с наследуемым и индуцированным типами партеногенеза // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т.18, №2. – С. 341-344.
- 15 Islam S. M. The effect of colchicine pretreatment on isolated microspore culture of wheat (*Triticum aestivum* L.) // Australian Journal of Crop Science. – 2010. – Vol. 4(9). – P. 660-665.

- 16 Hassan N. M., Serag M. S., El-Feky F. M. Changes in nitrogen content and protein profiles following in vitro selection of NaCl resistant mung bean and tomato // *Acta Physiologiae Plantarum*. – 2004. – Т. 26. – №. 2. – С. 165.
- 17 Verslues P. E., Ober E. S., Sharp R. E. Root growth and oxygen relations at low water potentials. Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions // *Plant Physiology*. – 1998. – Т. 116. – №.4. – С. 1403-1412.
- 18 Landraces D. W. Evaluation of Interaction Between Genotype and Environments in Term of Germination and Seedling Growth in Durum Wheat Landraces // *Advances in Environmental Biology*. – 2011. – Т.5. – №4. – С. 551-558.
- 19 Sammar Raza M.A., Saleem M. F., Khan I. H., Jamil M., Ijaz M., Khan M. A. Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*. – 2012. - №12. – P. 41-46.
- 20 Soliman H. I. A. et al. Selection for drought tolerance genotypes in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under in vitro conditions // *Middle East Journal of Scientific Research*. – 2013. – Т.14. – №.1. – С. 69-78.
- 21 Rai M. K. et al. Developing stress tolerant plants through in vitro selection - an overview of the recent progress // *Environmental and Experimental Botany*. – 2011. – Т.71. – №.1. – С. 89-98.
- 22 Galovic V., Kotaranin Z., Dtnic S. In vitro assessment of wheat tolerance to drought // *Genetika*. – 2005. – Vol. 37, №2. – P. 165-171.
- 23 Калашникова Е.А., Кочиева Е.З., Миронова О.Ю. Практикум по сельскохозяйственной биотехнологии. – М.: КолосС. – 2006. – 144 с.
- 24 Шевелуха В.С., Калашникова Е.А., Кочиева Е.З и др. Сельскохозяйственная биотехнология – М.: Высшая школа. – 2008. – 710 с.
- 25 Кидрей Т.А. Устойчивость С4 растений к засолению среды корнеобитания // *Вопросы экологии Волжско-Окского междуречья: Межвузовский сборник*. – 1999. – С.80-83.
- 26 Babadoost M., Herbert T.T. Factor saffecting infection of wheat seedlings by *Septoria nodorum* // *Phytopathology*. – 1984. – Vol. 74. – P. 592-595.
- 27 Svabova L., Lebeda E. In vitro selection for improved plant resistance to toxin-producing pathogens // *Phytopathology*. – 2005. – Vol. 153. – P. 52-64.
- 28 Черкасова Н.Н., Жужжалова Т.П., Ткаченко О.В. Разработка оптимальных условий in vitro для повышения устойчивости регенерантов сахарной свёклы к засухе // *Сахар*. – 2020. - № 9. – С. 50-52.
- 29 Мохаммад Н.Н, Ержебаева Р.С., Даниярова А.К. Многоступенчатая клеточная и тканевая селекция сои на устойчивость к осмотическому стрессу с применением ПЭГ 6000 в условиях in vitro // *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия аграрных наук*. – 2017. – №2. – С. 199-204.
- 30 Широких И. Г., Огородникова С. Ю., Далькэ И. В., Шуплецова О. Н. Биохимическая и физиологическая оценка растений регенерантов ячменя, полученных в селективных системах // *Известия РАН. Серия биологическая*. – 2011. – №6. – С. 703-709.
- 31 Круглова Н.Н. Оценка коллекции генотипов яровой мягкой пшеницы по устойчивости автономных зародышей in vitro на селективных средах, имитирующих засуху // *Известия Самарского НЦ РАН*. - 2012. - Т. 16. №1. - С. 2243-2245
- 32 Соболева Г.В. Сравнительная оценка регенерантных линий гороха, полученных методами клеточной селекции // *Научно-производственный журнал «Зернобобовые и крупяные культуры*. – 2015. – №1(13). – С. 20-25.
- 33 Пушкарев Д. В. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы на экологическую пластичность и стабильность урожайности зерна в степной зоне Омской области: дис.....канд. с/х. наук: 06.01.05. – Омск, 2018. – 135 с.
- 34 Ковтун В.И. Озерненность, масса зерна с колоса и масса 1000 зерен в повышении урожайности озимой мягкой пшеницы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. – 2015. – №3. – С. 27.
- 35 Шуплецова О.Н. Селективные системы in vitro для получения генотипов ячменя с комплексной устойчивостью к почвенным стрессовым факторам: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. биол. наук. – Москва, 2019. – 46 с.

Г.О.Шек¹, А.К.Есимсеитова¹, Ж.Т.Жаныбекова¹, А.Т.Бабкенов²,
Д.А.Дюсембекова¹, Т.В.Шелаева², А.А.Какимжанова¹

¹ Ұлттық биотехнология орталығы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

² А.И. Бараев атындағы астық шаруашылығы ғылыми-өндірістік орталығы, Шортанды, Қазақстан

Жұмсақ жаздық бидайдың құрғақшылыққа төзімді регенерант өсімдіктерін алу

Аңдатпа. Астық сапасының төмендеу себептерінің бірі - Қазақстанның табиғи-климаттық жағдайларының өзгеруі. Оларға биоценоздағы рационалды емес пайдаланудың және экологиялық тепе-теңдіктің бұзылуы нәтижесіндегі құрғақшылық пен аяз, желдің күшеюі және топырақтың деградациялануы (тұздылық, құрғақшылық) фонындағы климаттық өзгерістің әсерлерін жатқызамыз. Жұмыстың мақсаты *in vitro* жағдайында құрғақшылыққа төзімді жұмсақ жаздық бидайдың регенерант өсімдіктерін алу және көбейту. Жұмсақ жаздық бидайдың 10 отандық сұрыпы *in vitro* жағдайына енгізілді. Жасушалық селекцияны жүзеге асырған кезде бидайдың морфогендік каллус ұлпалары селективті агенттердің оңтайлы концентрациясын қосып, қоректік ортада өсірілді: полиэтиленгликоль 6000 – 5%; маннит – 2%; NaCl – 0,5%. Бидай генотиптерінің регенерациялану қабілеті анықталды. Жоғары морфогенетикалық потенциал көрсеткіші 2% маннит пен 5% полиэтиленгликоль қолданылуы арқылы алынған 10 сұрыпта анықталды. Олардың морфогенетикалық көрсеткіштері 44,2% және 38,9% құрды және олардың *in vitro* құрғақшылыққа бейімделу қабілетін сипаттайды. R0-R1 регенерант өсімдіктердің тұқымдықтары алынды. Маннит 2%, NaCl 0,5% және полиэтиленгликоль 5% селективті агенттерін пайдалану арқылы алынған регенерант өсімдіктерінің құрылымдық талдауы жүргізілді. Тәжірибелер нәтижесінде, құрғақшылыққа төзімді регенерант өсімдіктер таңдалып, олардың R1 ұрпағы алынды.

Түйін сөздер: жасуша селекциясы, регенерант өсімдіктер, құрғақшылыққа төзімділік, жаздық бидай линиялары.

G.O.Shek¹, A.K.Yessimseitova¹, Zh.T.Zhanybekova¹, A.T.Babkenov²,
D.A.Dyussebekova¹, T.V.Shelaeva², A.A.Kakimzhanova¹

¹ National Center for Biotechnology, Nur-Sultan, Kazakhstan

² A.I. Barayev research and production centre for grain farming, Shortandy, Kazakhstan

Production of drought-resistant regenerant plants of spring soft wheat

Abstract: Climate change is one of the reasons influences to decline grain quality in Kazakhstan. This includes the growing threat of droughts and frosts during the growing season of wheat, increased winds, and climate contrast against the background of soil degradation (salinization, desertification) because of irrational use and disruption of the ecological balance in the biocenosis. The aim of this work is to obtain drought-resistant regenerant plants of spring soft wheat in *in vitro* culture and their seeds. The authors have introduced 10 domestic varieties of spring wheat into *in vitro* culture. Obtained morphogenetic callus of wheat have been cultivated on nutrient medium MS, with treatment of optimal concentrations of selective agents: polyethylene glycol 6000 - 5%; mannitol - 2%; NaCl – 0,5%. There have been determined the regenerative capacity of wheat genotypes. High morphogenetic potential was observed among 10 cultivars using 2% mannitol and 5% polyethylene glycol, which made up to 44,2% and 38,9%, respectively and characterizes there *in vitro* adaptive ability to drought. Seeds (R0-R1) of obtained wheat regenerant lines were produced. Structural analysis has been carried out for obtained regenerant plants from selective agents such as mannitol 2%, NaCl 0.5% and polyethylene glycol 5%. As a result, drought-resistant regenerant plants have been selected and grown to produce their seeds (R1).

Key words: cell selection, regenerant plants, drought-resistant, spring soft wheat lines

References

1 Gomez S., Mary S., Langrell S. The Eurasian Wheat Belt and Food Security. Switzerland: Springer International Publishing, 319 (2017).

- 2 GOST ST RK 1046-2008. Pshenica Tehnicheskie usloviya. Komitet po tehničeskomu regulirovaniyu i metrologii Ministerstva industrii i trgovli Respubliki Kazahstan [GOST ST RK 1046-2008. Wheat Specifications. Committee for Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Industry and Trade of the Republic of Kazakhstan], Astana, 2008. [in Russian]
- 3 Statistika sel'skogo, lesnogo, ohotnich'ego i rybnogo hozyajstva. [Agriculture, forestry, hunting and fisheries statistics]. <http://available.at.stat.gov.kz>. – 2019. [in Russian]
- 4 Quarrie S.A., Stojanovic J., Pekic S. Improving drought resistance in small-grained cereals: a case study, progress and prospects, J. Plant Growth Regul, 29, 1-21 (1999).
- 5 Lee E.A., Tollenaar M. Physiological basis of successful breeding strategies for maize grain yield, Crop Sci, 47(3), 202-215 (2007).
- 6 Reynolds M., Drecker F., Trethowan R. Drought adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces // J. Exp. Bot., 58, 177-186 (2007).
- 7 Tardieu F. Plant tolerance to water deficit: physical limits and possibilities for progress, Comp. Rend. Geosci., 337, 57-67 (2005).
- 8 He Y., Jones H.D., Chen S., Chen X.M., Wang D.W., Li K.X., Wang D.S., Xia L.Q. Agrobacterium-mediated transformation of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum cv Stewart) with improved efficiency, Journal of experimental botany, 61, 1567-1581 (2010).
- 9 Raziuddin, Swati Z. A., Bakht J., Farhatullah U. N., Shafi M., Hassan G. In situ assessment of morpho-physiological response of wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes to drought, Pakistan Journal of Botany, 42(5), 3183-3195 (2010).
- 10 Chang Ch.M., Penna S., Bhagwat S.G. Callus induction and plant regeneration from different *Triticum* species, The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology, 6, 56-62 (2012).
- 11 Bajji M., Bertin P., Lutts S., Kinet J.M. Evaluation of drought resistance-related traits in durum wheat somaclonal lines selected in vitro, Anim. Reprod. Sci., 44, 27-35 (2004).
- 12 Munazir M. Qureshi R., Muhammad Ali G., Rashid U., Noor S., Mehmood K., Ali Sh., Arshad M. Primary callus induction, somatic embryogenesis and regeneration studies in selected elite wheat varieties from Pakistan // Pak. J. Bot., 42(6), 3957-3965 (2010).
- 13 Tadesse W., Inagaki M., Tawkaz S., Baum M., Van Ginkel M. Recent advances and application of doubled haploid in wheat breeding, African Journal of Biotechnology, 11(89), 15484-15492 (2012).
- 14 Gutorova O.V., Apanasova N.V., Judakova O.I. Sozdanie geneticheski markirovannyh linij kukuruzy s nasleduemym i inducirovannyh tipami partenogeneza [Creation of genetically marked maize lines with inherited and induced types of parthenogenesis], Izvestija Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 18(2), 341-344 (2016). [in Russian]
- 15 Islam S. M. The effect of colchicine pretreatment on isolated microspore culture of wheat (*Triticum aestivum* L.), Australian Journal of Crop Science, 4(9), 660-665 (2010).
- 16 Hassan N. M., Serag M. S., El-Feky F. M. Changes in nitrogen content and protein profiles following in vitro selection of NaCl resistant mung bean and tomato. Acta Physiologiae Plantarum, 26 (2), 165 (2004).
- 17 Verslues P. E., Ober E. S., Sharp R. E. Root growth and oxygen relations at low water potentials. Impact of oxygen availability in polyethylene glycol solutions, Plant Physiology, 116 (4), 1403-1412 (1998).
- 18 Landraces D. W. Evaluation of Interaction Between Genotype and Environments in Term of Germination and Seedling Growth in Durum Wheat Landraces Advances in Environmental Biology, 5 (4), 551-558 (2011).
- 19 Sammar Raza M.A., Saleem M. F., Khan I. H., Jamil M., Ijaz M., Khan M. A. Evaluating the drought stress tolerance efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars, Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences, 12, 41-46 (2012).
- 20 Soliman H. I. A. et al. Selection for drought tolerance genotypes in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under in vitro conditions // Middle East Journal of Scientific Research, 14 (1), 69-78 (2013).
- 21 Rai M. K. et al. Developing stress tolerant plants through in vitro selection - an overview of the recent progress, Environmental and Experimental Botany, 71 (1), 89-98 (2011).
- 22 Galovic V., Kotaranin Z., Dtnic S. In vitro assessment of wheat tolerance to drought, Genetika, 37 (2), 165-171 (2005).

- 23 Kalashnikova E.A., Kochieva E.Z., Mironova O.Ju. Praktikum po sel'skhozjajstvennoj biotekhnologii [Workshop on Agricultural Biotechnology]. – Moscow (KolosS, 144 (2006). [in Russian]
- 24 Sheveluha V.S., Kalashnikova E.A., Kochieva E.Z i dr. Sel'skhozjajstvennaya biotekhnologiya [Agricultural biotechnology] – M.: Vysshaya shkola, 710 (2008). [in Russian]
- 25 Kidrej T.A. Ustojchivost' S4 rastenij k zasoleniju sredy korneobitanija [Resistance of C4 plants to the salinity of the root habitat] , Voprosy jekologii Volzhsko-Okskogo mezhdurech'ja: Mezhvuzovskij sbornik [Issues of ecology of the Volga-Oka interfluvium: Interuniversity collection], 80-83 (1999). [in Russian]
- 26 Babadoost M., Herbert T.T. Factor affecting infection of wheat seedlings by *Septoria nodorum* , *Phytopathology*, 74, 592-595 (1984).
- 27 Svabova L., Lebeda E. In vitro selection for improved plant resistance to toxin-producing pathogens, *Phytopathology*, 153, 52-64 (2005).
- 28 Cherkasova N.N., Zhuzhzhhalova T.P., Tkachenko O.V. Razrabotka optimal'nyh uslovij in vitro dlya povysheniya ustojchivosti regenerantov saharnoj svyokly k zasuhe [Development of optimal in vitro conditions to increase the drought resistance of sugar beet regenerants], *Sahar*, 9, 50-52 (2020). [in Russian]
- 29 Mohammad N.N., Erzhebaeva R.S., Daniyarova A.K. Mnogostupenchataya kletchnaya i tkanevaya selekciya soi na ustojchivost' k osmoticheskomu stressu s primeneniem PEG 6000 v usloviyah in vitro [Multistage cell and tissue selection of soybeans for resistance to osmotic stress using PEG 6000 in vitro] , *Izvestiya Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan. Seriya agrarnyh nauk [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Agrarian Science Series]*, 2, 199-204 (2017). [in Russian]
- 30 Shirokih I. G., Ogorodnikova S. YU., Dal'ke I. V., SHuplecova O. N. Biohimicheskaya i fiziologicheskaya ocenka rastenij regenerantov yachmenya, poluchennyh v selektivnyh sistemah [Biochemical and physiological evaluation of barley regenerated plants obtained in selective systems], *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya [Bulletin of the RAS. Biological series]*, 6, 703-709 (2011). [in Russian]
- 31 Kruglova N.N. Ocenka kollekcii genotipov yarovoj myagkoj pshenicy po ustojchivosti avtonomnyh zarodyshej in vitro na selektivnyh sredah, imitiruyushchih zasuhu [Assessment of the collection of spring bread wheat genotypes for the resistance of autonomous embryos in vitro on selective media simulating drought] , *Izvestiya Samarskogo NC RAN [Izvestia of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 16(1), 2243-2245 (2012). [in Russian]
- 32 Soboleva G.V. Sravnitel'naya ocenka regenerantnyh linij goroha, poluchennyh metodami kletchnoj selekcii [Comparative evaluation of regenerated pea lines obtained by cell selection methods], *Nauchno-proizvodstvennyj zhurnal «Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Scientific and production journal «Legumes and cereals]*, 1(13), 20-25 (2015). [in Russian]
- 33 Pushkarev D. V. Ocenka sortov yarovoj myagkoj pshenicy na ekologicheskuyu plastichnost' i stabil'nost' urozhajnosti zerna v stepnoj zone Omskoj oblasti [Assessment of varieties of spring soft wheat for ecological plasticity and stability of grain yields in the steppe zone of the Omsk region]: dis. kand. s/h. nauk: 06.01.05 [dis. ... cand. agricultural. Sciences: 06.01.05], Omsk, 135 (2018). [in Russian]
- 34 Kovtun V.I. Ozernennost', massa zerna s kolosa i massa 1000 zeren v povyshenii urozhajnosti ozimoi myagkoj pshenicy [Grain content, grain weight per ear and 1000 grain weight in increasing the yield of winter soft wheat] , *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Orenburg State Agrarian University]*, 3, 27 (2015). [in Russian]
- 35 Huplecova O.N. Selektivnye sistemy in vitro dlya polucheniya genotipov yachmenya s kompleksnoj ustojchivost'yu k pochvennym stressovym faktoram [Selective in vitro systems for obtaining barley genotypes with complex resistance to soil stress factors]: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. dokt. biol. Nauk [author. dis. for a job. learned. step. doct. biol. sciences]. – Moskva, 46 (2019). [in Russian]

Сведения об авторах

Шек Г.О. – автор для корреспонденции, к.с.-х.н., старший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, Кургальжинское шоссе, 13/5, Нур-Султан, Казахстан.

Есимсеитова А.К. – научный сотрудник лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, Кургальжинское шоссе, 13/5, Нур-Султан, Казахстан.

Жаныбекова Ж.Т. – младший научный сотрудник лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, Кургальжинское шоссе, 13/5, Нур-Султан, Казахстан.

Бабкенов А.Т. – к.с.-х.н., зав. отделом селекции яровой мягкой пшеницы, Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева, Шортанды, Казахстан.

Дюсембекова Д.А. – инженер лаборатории биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, Кургальжинское шоссе, 13/5, Нур-Султан, Казахстан.

Шелаева Т.В. – научный сотрудник отдела селекции яровой мягкой пшеницы, Научно-производственного центра зернового хозяйства им. А.И. Бараева, Шортанды, Казахстан.

Какимжанова А.А. – д.б.н., доцент, зав. лабораторией биотехнологии и селекции растений Национального центра биотехнологии, Кургальжинское шоссе, 13/5, Нур-Султан, Казахстан.

Shek G.O. – *corresponding author*, Candidate of Agricultural Sciences, A.I. Barayev research and production centre for grain farming, 13/5, Kurgalzhynskoye road, Nur-Sultan, Kazakhstan

Yessimseitova A.K. – Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Plant Breeding, National Center for Biotechnology, 13/5, Kurgalzhynskoye road, Nur-Sultan, Kazakhstan

Zhanybekova Zh.T. – Junior Researcher of the Laboratory of Biotechnology and Plant Breeding, National Center For Biotechnology, 13/5, Kurgalzhynskoye road, Nur-Sultan, Kazakhstan

Babkenov A.T. – Candidate of Agricultural Sciences, A.I. Barayev Research and Production Centre for Grain Farming, Shortandy, Kazakhstan

Dyussebekova D.A. – Engineer of the Laboratory of Biotechnology and Plant Breeding, National Center for Biotechnology, 13/5, Kurgalzhynskoye road, Nur-Sultan, Kazakhstan

Shelaeva T.V. – Researcher of Breeding Department, A.I. Barayev Research and Production Centre for Grain Farming, Shortandy, Kazakhstan

Kakimzhanova A.A. – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Biotechnology and Plant Breeding, National Center for Biotechnology, 13/5, Kurgalzhynskoye road, Nur-Sultan, Kazakhstan