

УДК 33

DOI: 10.34670/AR.2023.88.61.067

Инновационные методы биотехнологий повышения урожайности растений

Акинин Александр Владимирович

Магистрант,
Российский биотехнологический университет,
125080, Российская Федерация, Москва, Волоколамское ш., 11;
e-mail: alexandrakinin@yandex.ru

Забайкин Юрий Васильевич

Кандидат экономических наук,
доцент кафедры управления бизнесом и сервисных технологий,
Российский биотехнологический университет,
125080, Российская Федерация, Москва, Волоколамское ш., 11;
e-mail: 89264154444@Yandex.ru

Машкин Дмитрий Михайлович

Старший преподаватель кафедры
производственного и финансового менеджмента,
Российский государственный геологоразведочный университет,
117485, Российская Федерация, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23;
e-mail: 89264154444@Yandex.ru

Аннотация

Пшеница является второй по величине урожая сельскохозяйственной культурой в мире, посевные площади которой занимают более 200 млн га. Впрочем, в связи с изменением климата и некоторыми неблагоприятными экологическими условиями наблюдается тенденция к снижению мирового производства этой культуры. Существует много факторов, которые не дают возможности в полной мере реализовать детерминированный наследственный потенциал сортов, среди которых видное место занимают биотические и абиотические стрессоры. В связи с этим основные исследования биотехнологов направлены на создание улучшенных и принципиально новых генотипов с единичной, групповой или комплексной устойчивостью к биотическим или абиотическим стрессовым факторам окружающей среды при сохранении и повышении их производительности и качества. На сегодня одним из перспективных направлений, которые дают возможность повысить эффективность создания новых форм пшеницы, является использование методов клеточной селекции. При этом селекцию *in vitro* проводят на признаки, которые могут проявляться на клеточном уровне, в частности на увеличенную экспрессию определенных генов, являющихся главными переключателями метаболических путей, которые обеспечивают толерантность к стрессовым факторам.

Исходя из определения адаптационных свойств растений как генетически детерминированного процесса формирования систем устойчивости организма, проявляющегося на различных структурных уровнях, его совершенствование возможно в условиях *in vitro*. Клеточный отбор – это метод создания новых форм растений путем выделения мутантных клеток и соматональных вариантов в селективных условиях.

Для цитирования в научных исследованиях

Акинин А.В., Забайкин Ю.В., Машкин Д.М. Инновационные методы биотехнологий повышения урожайности растений // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023. Том 13. № 4А. С. 559-568. DOI: 10.34670/AR.2023.88.61.067

Ключевые слова

Урожайность, биотехнологии, повышение, растения, исследования.

Введение

Известно, что влияние продовольственной безопасности, являющееся одним из основных вопросов как академических, так и международных дебатов, оказывает глобальное воздействие на фундаментальные экономические показатели. Среди огромного числа предложенных определений и показателей некоторые предлагают использовать антропогенные измерения для мониторинга продовольственной безопасности. Почти половина населения земного шара проживает в сельских районах, и подавляющее большинство из них зависит от сельского хозяйства в качестве источника средств к существованию, включая 50-90% населения в развивающихся странах [Грабовец, Крохмаль, 2018].

Таким образом, в большинстве развивающихся стран экономический рост возглавляется сельским хозяйством. Например, в западноафриканской стране валовой внутренний продукт (ВВП) Либерии зависит от сельского хозяйства, на долю которого приходится около 76,9%, что делает его самым высоким в мире. Однако, по имеющимся данным, в большинстве развивающихся стран этот показатель составляет около 30%. Таким образом, сельское хозяйство может быть очень эффективной защитой от экономических и финансовых кризисов во многих частях мира [Кобылкин, Медведева, 2016].

В 2019 году более 750 миллионов человек, или почти каждый десятый житель мира, подвергались жестокому голоданию. Однако, оценка в 800-900 миллионов недоедающих людей – это всего лишь грубая недооценка распространенности отсутствия продовольственной безопасности, и даже если подсчет числа верен, это следует рассматривать как нижнюю границу для получения «общей картины» [Кузин, 2016]. Согласно отчету, воздействие стихийных бедствий на сельскохозяйственный сектор только развивающихся стран оценивается более чем в 108 миллиардов долларов США, причем наиболее пострадавшим регионом была Азия с общими экономическими потерями в 49 миллиардов долларов США, за которой следуют Африка с 30 миллиардами долларов США, и Латинская Америка и Карибский бассейн с 29 миллиардами долларов США [Мирошниченко и др., 2019].

Потери в растениеводстве и животноводстве в наименее развитых и среднеразвитых странах в период с 2008 по 2018 год были эквивалентны потере 6,9 трлн килокалорий в год. По прогнозам, к 2055 году производство кукурузы в Латинской Америке сократится на 10%, что создаст огромную угрозу глобальной продовольственной безопасности. Даже в Северной

Америке и Европе, где отмечаются самые низкие показатели отсутствия продовольственной безопасности, распространенность отсутствия продовольственной безопасности возрастает. В то же время примечательно, что к 2030 году население достигнет поразительных 8,6 миллиарда человек, а к концу 2050 года, как ожидается, превысит 9,7 миллиарда [Плескачев и др., 2011], при этом несколько миллионов «недоедают» [Сухих и др., 2021].

Согласно прогнозам, производительность сельского хозяйства должна быть увеличена еще на 60% в 2050 году, чтобы прокормить население планеты [Селиванова, 2017]. Сообщалось, что более 2 миллиардов человек во всем мире испытывают дефицит одного или нескольких питательных микроэлементов. Более 160 миллионов детей в возрасте до 5 лет имеют рост, не соответствующий их возрасту, и более 50 миллионов сильно худы для своего роста. Это привело к более чем 3 миллионам ежегодных детских смертей из-за недоедания и почти 790 миллионам людей, страдающих из-за недостаточного ежедневного потребления энергии с пищей [Семенов и др., 2018]. Ожидается, что глобальный спрос на калории растительного происхождения увеличится на $100\% \pm 11\%$, тогда как ожидается, что глобальный спрос на растительный белок увеличится на $110\% \pm 7\%$ (среднее значение $\pm SE$) с 2005 по 2050 год [там же]. По прогнозам, цены на эти сырьевые товары вырастут на 31-106% к 2050 году [там же].

Основная часть

Для мягкой пшеницы самой опасной болезнью, основным возбудителем которой является грибок *Fusarium graminearum* Schwabe, считают фузариоз колоса. Поражение патогеном приводит к значительному снижению урожая и качества зерна, накоплению микотоксинов, ядовитость и канцерогенность которых делают его непригодным для продовольственных и фуражных целей. Существует более 200 штаммов возбудителя с различными степенями агрессивности. В связи с этим необходимо разработать такую биотехнологическую систему, в которой возможно было бы моделировать условия получения толерантных вариантов с кумулятивной устойчивостью к различным по патогенности штаммам этого возбудителя и делать это в более короткие сроки, чем традиционная селекция [Кобылкин, Медведева, 2016].

В литературе приводятся успешные примеры клеточной селекции пшеницы с использованием очищенных токсинов *Fusarium* [Короткова, Герасимова, Хлесткина, 2019]. Эти результаты подтверждают возможность образования генного комплекса, ответственного за снижение восприимчивости к токсину. У созданных линий были значительно ниже индекс развития болезни, поражения колоса, высота стеблей и лучшие показатели урожайности по сравнению с известным китайским сортом Sumai 3, устойчивым к фузариозу колоса.

Среди линий пшеницы, отобранных на селективных средах, получены такие, устойчивость к фузариозу которых в 5-7 раз превышала устойчивость исходных форм, причем часть таких линий выделена от восприимчивых доноров [Кузин, 2016]. Перспективным направлением селекции *in vitro* является метод гаплоидии, или культуры пыльников, который позволяет создавать стабильные формы удвоенных гаплоидов на селективном фоне патогена, что имеет ряд преимуществ [Мирошниченко и др., 2019].

Возможность применения клеточной селекции для отбора форм пшеницы, устойчивых к септориозу листьев (возбудитель *Septoria tritici* Rob, ex Desm.), описано во многих работах. Получены линии, нечувствительные к токсинам при их концентрации 10 мг/л, причем установлена корреляция между устойчивостью *in vitro* и устойчивостью к патогену на уровне целых растений. Одним из компонентов повышенной устойчивости регенерантов было

замедление развития болезни [Короткова, Герасимова, Хлесткина, 2019].

Корневые гнили. Под этим названием объединено по меньшей мере шесть болезней (церкоспореллез, офиоблез, побурение основания стебля (фузариоз), фузариозная корневая гниль, обычная (гельминтоспориозная) корневая гниль, ризоктониоз корневой системы и прикорневой части стебля), имеющих сходные симптомы. В работах по клеточной селекции чаще всего используют токсические метаболиты таких возбудителей корневых гнилей, как *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Fusarium oxisporum*, *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, *Helminthosporium sativum* [Кузин, 2016].

Для озимой мягкой пшеницы разработана биотехнология, обеспечивающая получение удвоенных гаплоидов для ускоренного создания форм, устойчивых к фузариозным корневым гнилям. Экспериментально доказано, что признак устойчивости к фузариевой кислоте каллюсных тканей коррелирует с устойчивостью растений, выращиваемых на искусственном инфекционном фоне с патогенами [Мирошниченко и др., 2019].

Гельминтоспориоз-обычная, или гельминтоспориозная, корневая гниль (*Bipolaris sorokiniana* Shoem, синоним *Helminthosporium sativum* Pamel, King & Bakke). Получены растения-регенеранты, проявившие устойчивость к возбудителю гельминтоспориоза в полевых условиях в нескольких семенных поколениях [Плескачев и др., 2019].

Церкоспореллезная корневая гниль. В результате отбора на селективных средах получено до 10% устойчивых регенерантов. Поражение стеблей в условиях искусственного инфекционного фона у отдельных линий, полученных из устойчивого сорта Roazon, было в 8,7 раза меньше по сравнению со стандартом. При этом количество растений с самым высоким баллом поражения в поколении R3 было на порядок меньше [Сухих и др., 2021].

Офиоболевая корневая гниль. Одной из самых вредоносных болезней считают офиоблез, возбудителем которого является *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, J. Walker. Потери зерна от офиоблеза могут превышать 65%. Даже незначительное поражение корневой системы растений приводит к снижению урожая. Для многих стран Европы, в том числе и России, эта болезнь может быть основной причиной потерь урожая пшеницы и ячменя. В роду *Triticum* источников устойчивости к офиоблезу до сих пор не найдено. Гены устойчивости к этому возбудителю есть у овса, однако указанные виды слишком отдалены для переноса генов классическими методами. Альтернативой стала технология клеточной селекции.

В Институте физиологии растений и генетики РАН впервые методом прямого отбора *in vitro* получены устойчивые к метаболитам возбудителя офиоболевой корневой гнили клеточные линии мягкой пшеницы и индуцированные из них растения-регенеранты. Комплексная оценка уровня устойчивости растений семенного поколения R2 и семян R3 подтвердила устойчивость от рифмованных биотехнологическим путем форм к возбудителю офиоблеза и его метаболитов [Грабовец, Крохмаль, 2018; Кузин, 2016]. Впервые показано, что у устойчивых к культуральному фильтрату *G. graminis* var. *tritici* растений пшеницы присутствуют специфические ISSR-ампликоны, что может свидетельствовать о потенциальной возможности их использования в качестве маркеров устойчивости к офиоблезу [Кобылкин, Медведева, 2016].

Кроме селекции на устойчивость к возбудителям грибных болезней проводится клеточная селекция и на устойчивость к возбудителям бактериальных болезней.

В частности, в культуре незрелых зародышей с использованием синрингомицина (неспецифический токсин) получено пять линий пшеницы с повышенной устойчивостью к *Pseudomonas syringae* pv. *syringae* [Сухих и др., 2021]. И хотя эти растения по устойчивости

несущественно отличались от контрольных, результаты опытов убедительно свидетельствуют о перспективности такого подхода.

Клеточную селекцию *in vitro* используют также и для создания форм пшеницы, устойчивых к вредителям. Исследователи применили экстракт яда, который вводит в растения русская тля (*Diuraphis poxia*) в качестве селективного фактора для получения устойчивых форм. Из каллюсных культур сверхчувствительного сорта Стефенс получены соматональные варианты, устойчивые ко тле как в семенном поколении R2, так и R3. Кроме того, они были устойчивы к скручиванию и хлорозу листьев [Бабайцева, Гамберова, 2018].

Разработаны биотехнологические приемы для получения растений мягкой пшеницы в культуре апикальных меристем побегов, что в 2-3 раза увеличивает коэффициент размножения и сокращает время выведения ценных форм, что очень хорошо скажется на экономическую составляющую такого сорта [Селиванова, 2017]. У устойчивых к водному дефициту растений-регенераторов пшеницы на хромосомах 3А и 3В обнаружены специфические аллели гена *Dreb1*, что позволяет дифференцировать устойчивые и неустойчивые формы [Короткова, Герасимова, Хлесткина, 2019]. Экспериментально обоснована возможность получения методом селекции *in vitro* растений этой культуры, устойчивых к комплексу стрессовых факторов, что совершенствует биотехнологические приемы расширения генетического потенциала пшеницы.

В последние годы в биотехнологии растений исследователи использовали технику генетической трансформации пластид в качестве альтернативы традиционной технологии трансформации ядерной ДНК [Кузин, 2016; Плескачев и др., 2019].

Среди экологических проблем, поднятых при создании генно-инженерных организмов, является то, что трансгены могут передаваться («трансгенный поток», процесс трансгенового движения при повторной гибридизации) через пыльцу в родственные виды, которые растут в естественной среде или агроценозах.

Поскольку пластиды наследуются по материнской линии у большинства покрытосеменных видов, вставка трансгенов в геном пластид должна предотвращать поток генов через пыльцу. Следовательно, гены, встроенные в пласт, не будут передаваться через опыление диким родственникам трансгенных растений. Поскольку пластиды передаются в основном через «материнское наследование» как идентичные копии, материнское растение будет передавать их всем семенам, которые образуются и не меняются от поколения к поколению, что важно для стабильной передачи чужеродной ДНК.

Транспластомная технология также может быть полезной для фиторемедиации и повышения устойчивости к стрессовым факторам, таким как болезни и вредители, засуха, засоление, заморозки, которые могут серьезно затормозить рост и развитие растений [Мирошниченко и др., 2019].

На сегодняшний день биотехнологическое улучшение растений в основном ограничивается введением отдельных новых генов в геномы целевых видов. Однако многие агрономические признаки могут зависеть от сложного взаимодействия нескольких генов, и для биотехнологического улучшения конкретного вида могут потребоваться доставка и экспрессия всего генного комплекса.

Кроме того, генетическая модификация коммерчески важных видов растений также требует разработки новых инструментов для удаления и замены существующих трансгенов в растительных клетках. В биотехнологии растений рассматриваются две основные проблемы: разработка той или иной технологии для объединения нескольких трансгенных признаков в одном растении путем встраивания ряда генов в один и тот же хромосомный локус одним

массивом и последовательные манипуляции с этим массивом для редактирования генома [Сухих и др., 2021].

В Мичиганском университете США разработана кассетная система векторов, которая одновременно несет до девяти генов. Проведена успешная трансформация протопластов арабидопсиса, показана стабильная экспрессия всех введенных трансгенов [Короткова, Герасимова, Хлесткина, 2019]. В геноме риса на двух независимых молекулах Т-ДНК было одновременно встроено восемь различных генов [Мирошниченко и др., 2019].

Улучшение пищевых качеств пшеницы. Высокобелковая пшеница-важный источник растительного белка в пищевом рационе человека. Одной из задач применения трансгенных технологий для улучшения питательной ценности зерна пшеницы является повышение его качества, а именно: увеличение содержания белка, незаменимых аминокислот, таких как лизин, высокомолекулярных глютеинов для улучшения хлебопекарных свойств пшеничной муки; модификация крахмальной композиции и объема; производство фармацевтической продукции и нутрицевтиков.

Генетическая трансформация пшеницы является ключевым компонентом в схеме, предлагающей полный набор биотехнологий для улучшения качества зерна прямым введением генов высокомолекулярных глютеинов [Семенов и др., 2018]. Ген *Glu1Ax*, обеспечивающий высокое качество выпекания хлеба, был введен в сорт *Bobwhite*, его стабильность на протяжении нескольких поколений поддерживалась на высоком уровне [Чуманова, Ефремова, Кручинина, 2020].

Трансформация одним или двумя генами субъединиц высокомолекулярных глютеинов привела к их ступенчатому увеличению и изменению полимерной сборки и композиции клейковины [Шевяхова, Медведев, 2008]. Кроме того, сверхэкспрессия высокомолекулярной субъединицы *Glu1Dx5* в трансгенной пшенице (*T. aestivum*) обусловила четырехкратное увеличение доли этого компонента белка семян и соответствующее увеличение пропорции общего белка и глютеинов [там же]. Продемонстрирован также рост эластичности теста.

Исследования по повышению качества выполняли на твердых сортах пшеницы введением одной или двух субъединиц генов высокомолекулярных глютеинов с *x* и *Y* типами (*Glu1Ax1* или *Glu1Dx5*) [Кузин, 2016]. Анализом экспрессии дополнительных субъединиц в Т2 поколении трансгенных растений с использованием миксографа выявлено увеличение прочности теста.

В настоящее время пшеничный крахмал модифицируют в различных лабораториях мира с целью улучшения его потенциальной пользы. Пшеница преимущественно состоит из крахмала, представляющего собой смесь двух полимеров – почти линейных молекул амилозы и сильно разветвленных молекул амилопектина. Соотношение амилозы и амилопектина в крахмале определяет его физико-химические характеристики и конечное использование. Желательно получить пшеничную муку с низким содержанием амилозы, поскольку в таком случае улучшается текстура лапши. Ученые работают над увеличением содержания амилопектина в крахмале и тем самым – уменьшением в нем содержания амилозы [Грабовец, Крохмаль, 2018; Кузин, 2016]. Для повышения уровня каротиноидов в зерне была создана трансгенная элитная пшеница, в эндосперме зерна которой экспрессируется ген фитоенсинтазы кукурузы [Короткова, Герасимова, Хлесткина, 2019].

Снижение экспрессии глюкан, вододикиназы (первого фермента, необходимого для фосфорилирования крахмала) под контролем эндоспермспецифического промотора вследствие РНК-интерференции приводило к уменьшению содержания фосфорилированного крахмала в зерне мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) [Мирошниченко и др., 2019], что сопровождалось

увеличением вегетативной массы, размера зерен и урожая зерна до 29% в последующих поколениях, выращенных как в теплице, так и в полевых условиях.

Пшеница широко используется в качестве корма для нежвачных животных во многих развитых странах мира. С целью улучшения усвоения зерна животными, а также повышения биодоступности фосфата и минералов была создана трансгенная пшеница, экспрессирующая в эндосперме эндоксиланазу из *Bacillus subtilis* и эстеразу феруловой кислоты из *Aspergillus niger* [Плескачев и др., 2019].

Пшеница является идеальной системой для производства новых соединений, поскольку она прекрасно хранится и подвергается эффективной переработке. Потенциальные продукты содержат биологически активные белки и пептиды. Сообщалось о получении из пшеницы важных с медицинской точки зрения одноцепочечных рекомбинантных антител против раково-эмбрионального антигена [там же]. Рекомбинантные антитела обнаружены в листьях и семенах. И что самое важное – рекомбинантные антитела оставались активными после длительного хранения семян при комнатной температуре, а это открывает возможности для дальнейшего использования пшеницы для получения новых соединений.

Заключение

В Институте физиологии растений и генетики РАН проводятся исследования по генетическому улучшению пшеницы в сочетании классических методов селекции (гибридизация, экспериментальный мутагенез) с новейшими молекулярно-генетическими методами, клеточной биотехнологией, генетической инженерией, маркерной селекцией. Разработаны и внедрены в селекционный процесс методы паспортизации сортов и идентификации: пшенично-ржаных транслокаций и ряда генов устойчивости к биотическим и абиотическим стрессам; аллеля *Glu-B1a1*, который оказывает сильное положительное влияние на качество муки; высокоамилозной и Вакси пшениц с измененным, более диетическим составом крахмала; перенесенного из *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* гена *Gpc-B1*, ответственного за повышенное содержание белка, микроэлементов Zn, Mn, Fe; проводится работа по улучшению некоторых других признаков качества зерна.

Библиография

1. Бабайцева Т.А., Гамберова Т.В. Оценка исходного материала для селекции озимой тритикале в Среднем Предуралье. Ижевск, 2018. 156 с.
2. Беспалова Л.А. Вклад генетики в «Зеленые прорывы» в селекции // VII Съезд Вавиловского общества генетиков и селекционеров, посвященный 100-летию кафедры генетики СПбГУ, и ассоциированные симпозиумы. Сборник тезисов Международного Конгресса. 2019. С. 423.
3. Грабовец А.И., Крохмаль А.В. Селекция тритикале на зеленый корм на Дону // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 12. С. 40-42. DOI 10.24411/0235-2451-2018-11211
4. Кобылкин Р.А., Медведева Л.М. Продовольственная безопасность как элемент национальной безопасности: философские и культурологические аспекты // Вестник Волгоградской академии МВД России. 2016. № 3. С. 155-159.
5. Короткова А.М., Герасимова С.В., Хлесткина Е.К. Текущие достижения в области модификации генов культурных растений с использованием системы CRISPR/Cas // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23(1). С. 29-37.
6. Кузин А.Г. Агротехнологические приемы повышения продуктивности озимой пшеницы в условиях Нижнего Поволжья // Кормопроизводство. 2016. № 4. С. 61-73.
7. Мирошниченко Д.Н. и др. Достижения, проблемы и перспективы получения нетрансгенных растений с отредактированным геномом // Биотехнология. 2019. Т.35. № 1. С. 3-26.
8. Плескачев Ю.Н. и др. Экономическая эффективность способов основной обработки почвы и удобрений при

- возделывании озимой пшеницы // Проблемы развития АПК региона. 2019. № 2 (38). С. 135-140.
9. Селиванова К.А. Обеспечение продовольственной безопасности страны через элементы эколого-правового механизма // Новая правовая мысль. 2017. № 1. С. 67-69.
 10. Семенов О.Г. и др. Специфика сочетаний качественных и количественных характеристик клейковины у генотипов аллоцитоплазматической яровой пшеницы с аллелем WX-B1A // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: агрономия и животноводство. 2018. Т. 13. № 1. С. 14-25.
 11. Сухих И.С. и др. Разнообразие и фенотипический эффект аллельных вариантов генов короткостебельности RHT у пшениц // Генетика. 2021. Т. 57. № 2. С. 127-139.
 12. Чуманова Е.В., Ефремова Т.Т., Кручинина Ю.В. Влияние различных доминантных аллелей локусов VRN и их комбинаций на продолжительность фаз развития и продуктивность у линий мягкой пшеницы // Генетика. 2020. Т. 56. № 7. С. 805-818.
 13. Шевяхова Е.А., Медведев Г.А. Влияние норм высева и удобрений на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы // Проблемы и тенденции устойчивого развития аграрной сферы. Волгоград, 2008. С. 34-37.

Innovative methods of biotechnology to increase plant productivity

Aleksandr V. Akinin

Master's Student,
Russian Biotechnological University,
125080, 11, Volokolamskoe h., Moscow, Russian Federation,
e-mail: alexandrakinin@yandex.ru

Yurii V. Zabaikin

PhD in Economics,
Associate Professor of the Department of Business Management
and Service Technologies,
Russian Biotechnological University,
125080, 11, Volokolamskoe h., Moscow, Russian Federation,
e-mail: 89264154444@Yandex.ru

Dmitrii M. Mashkin

Senior Lecturer of the Department of Production and Financial Management,
Russian State Geological Prospecting University,
117485, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: 89264154444@Yandex.ru

Abstract

Wheat is the second largest agricultural crop in the world, with over 200 million hectares under cultivation. However, due to climate change and some adverse environmental conditions, there is a trend towards a decrease in world production of this crop. There are many factors that do not make it possible to fully realize the deterministic hereditary potential of varieties, among which biotic and abiotic stressors occupy a prominent place. In this regard, the main research of biotechnologists is aimed at creating improved and fundamentally new genotypes with single, group or complex resistance to biotic or abiotic environmental stress factors while maintaining and improving their

productivity and quality. Today, one of the promising areas that make it possible to increase the efficiency of creating new forms of wheat is the use of cell selection methods. At the same time, in vitro selection is carried out for traits that can manifest themselves at the cellular level, in particular, for increased expression of certain genes that are the main switches of metabolic pathways that provide tolerance to stress factors. Based on the definition of the adaptive properties of plants as a genetically determined process of the formation of organism resistance systems, which manifests itself at various structural levels, its improvement is possible under in vitro conditions. Cellular selection is a method of creating new forms of plants by isolating mutant cells and somaclonal variants under selective conditions.

For citation

Akinin A.V., Zabaikin Yu.V., Mashkin D.M. (2023) Innovatsionnye metody biotekhnologii povysheniya urozhainosti rastenii [Innovative methods of biotechnology to increase plant productivity]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 13 (4A), pp. 559-568. DOI: 10.34670/AR.2023.88.61.067

Keywords

Productivity, biotechnology, increase, plants, research.

References

1. Babaitseva T.A., Gamberova T.V. (2018) *Otsenka iskhodnogo materiala dlya seleksii ozimoi tritikale v Srednem Predural'e* [Evaluation of the source material for the selection of winter triticale in the Middle Cis-Urals]. Izhevsk.
2. Bespalova L.A. (2019) Vklad genetiki v «Zelenye proryvy» v seleksii [The contribution of genetics to the "Green breakthroughs" in breeding]. In: *VII S"ezd Vavilovskogo obshchestva genetikov i selektsionerov, posvyashchennyi 100-letiyu kafedry genetiki SPbGU, i assotsirovannyye simpoziumy. Sbornik tezisov Mezhdunarodnogo Kongressa* [VII Congress of the Vavilov Society of Geneticists and Breeders, dedicated to the 100th anniversary of the Department of Genetics of St. Petersburg State University, and associated symposiums. Collection of abstracts of the International Congress].
3. Chumanova E.V., Efremova T.T., Kruchinina Yu.V. (2020) Vliyaniye razlichnykh dominantnykh allelei lokusov VRN i ikh kombinatsii na prodolzhitel'nost' faz razvitiya i produktivnost' u linii myagkoi pshenitsy [Influence of various dominant alleles of VRN loci and their combinations on the duration of developmental phases and productivity in common wheat lines]. *Genetika* [Genetics], 56, 7, pp. 805-818.
4. Grabovets A.I., Krokhmal' A.V. (2018) Seleksiya tritikale na zelenyi korm na Donu [Selection of triticale for green fodder on the Don]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agriculture], 32, 12, pp. 40-42. DOI 10.24411/0235-2451-2018-11211
5. Kobylkin R.A., Medvedeva L.M. (2016) Prodoval'stvennaya bezopasnost' kak element natsional'noi bezopasnosti: filosofskie i kul'turologicheskie aspekty [Food security as an element of national security: philosophical and cultural aspects]. *Vestnik Volgogradskoi akademii MVD Rossii* [Bulletin of the Volgograd Academy of the Ministry of Internal Affairs of Russia], 3, pp. 155-159.
6. Korotkova A.M., Gerasimova C.B., Khlestkina E.K. (2019) Tekushchie dostizheniya v oblasti modifikatsii genov kul'turnykh rastenii s ispol'zovaniem sistemy CRISPR/Cas [Current achievements in the field of gene modification of cultivated plants using the CRISPR/Cas system]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding], 23 (1), pp. 29-37.
7. Kuzin A.G. (2016) Agrotekhnologicheskie priemy povysheniya produktivnosti ozimoi pshenitsy v usloviyakh Nizhnego Povolzh'ya [Agrotechnological methods for increasing the productivity of winter wheat in the conditions of the Lower Volga region]. *Kormoproizvodstvo* [Feed production], 4, pp. 61-73.
8. Miroshnichenko D.N. et al. (2019) Dostizheniya, problemy i perspektivy polucheniya netransgennykh rastenii s otredaktirovannym genomom [Achievements, problems and prospects for obtaining non-transgenic plants with an edited genome]. *Biotehnologiya* [Biotechnology], 35, 1, pp. 3-26.
9. Pleskachev Yu.N. et al. (2019) Ekonomicheskaya effektivnost' sposobov osnovnoi obrabotki pochvy i udobrenii pri vozdeleyvanii ozimoi pshenitsy [Economic efficiency of methods of basic tillage and fertilizers in the cultivation of winter wheat]. *Problemy razvitiya APK regiona* [Problems of development of the agro-industrial complex of the region],

- 2 (38), pp. 135-140.
10. Selivanova K.A. (2017) Obespechenie prodovol'stvennoi bezopasnosti strany cherez elementy ekologo-pravovogo mekhanizma [Ensuring the country's food security through elements of the environmental and legal mechanism]. *Novaya pravovaya mysl'* [New legal thought], 1, pp. 67-69.
 11. Semenov O.G. et al. (2018) Spetsifika sochetanii kachestvennykh i kolichestvennykh kharakteristik kleikoviny u genotipov allotsitoplazmaticheskoi yarovoi pshenitsy s allelem WX-B1A [Specificity of combinations of qualitative and quantitative characteristics of gluten in genotypes of alloctoplasmic spring wheat with the WX-B1A allele]. *Vestnik Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: agronomy and animal husbandry], 13, 1, pp. 14-25.
 12. Shevyakhova E.A., Medvedev G.A. (2008) Vliyanie norm vyseva i udobrenii na urozhainost' i kachestvo zerna sortov ozimoi pshenitsy [Influence of seeding rates and fertilizers on the yield and grain quality of winter wheat varieties]. In: *Problemy i tendentsii ustoichivogo razvitiya agrarnoi sfery* [Problems and trends in the sustainable development of the agrarian sector]. Volgograd.
 13. Sukhikh I.S. et al. (2021) Raznoobrazie i fenotipicheskii effekt allel'nykh variantov genov korotkostebel'nosti RHT u pshenits [Diversity and phenotypic effect of allelic variants of RHT short stem genes in wheat]. *Genetika* [Genetics], 57, 2, pp. 127-139.