Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева»

ЖУЧЕНКОВСКИЕ ЧТЕНИЯ IX

Сборник научных трудов
25-26 сентября 2025 г.

Москва, 2025

УДК 633/635

ББК 41/42

Ж 94

Редакционная коллегия:

А.А. Жученко, В.М. Косолапов, Г.В. Волкова, А.В. Шитикова, Е.А. Вертикова, С.С. Баженова, Е.К. Барнашова, А.Д. Симагин, А.С. Симагина, Я.Е. Вильховой, В.В. Овсянников

Секретарь редакционной коллегии: А.С. Симагина

Жученковские чтения IX: международная научная конференция (Москва, 25-26 сентября 2025 г.): сборник научных трудов / под ред. Жученко А.А., Косолапов В.М., Волкова Г.В. и др. – Москва: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2025. – 130 с.

В настоящем сборнике приводятся материалы научных трудов международной научной конференции «Жученковские чтения IX», проведенной по случаю 90-летия со дня рождения выдающегося генетика, профессора, академика РАН Александра Александровича Жученко.

Публикации изложены в авторской редакции с минимальными техническими правками.

Сборник предназначен для научных работников, аспирантов, студентов и специалистов в области генетики и селекции растений.

ISBN 078-5-9675-2089-1

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 2025

© Коллектив авторов, 2025

Александр Александрович Жученко
(25.09.1935–01.06.2013)

Российский ученый, основатель экологической генетики культурных растений и агроэкологии, академик РАН, академик РАСХН, академик АН Молдавской ССР, академик Аграрной академии Республики Беларусь, академик Сельскохозяйственной академии ГДР, вице-президент Вавиловского общества генетиков и селекционеров, доктор биологических наук, профессор

Содержание

А.А. Жученко мл.
Вклад академика А.А. Жученко в мировую науку 7

И.Т. Балашова, Ю.В. Чесноков, И.В. Ущаповский, А.А. Жученко мл.
Международная научная школа академика А.А. Жученко 14

Т.А. Рожмина, А.А. Жученко мл., А.В. Мясникова
Генетическая коллекция льна по устойчивости к фузариозному увяданию….. 32

Г.М. Джафарова
Роль генетики в улучшении культурных растений 36

Л.А. Бердникова, А.С. Симагина *(научный руководитель)*
Современные подходы к ускорению селекции культурных растений 40

Н.П. Бакаева
Качественные показатели зерна яровой твердой пшеницы сортов различной районированности при возделывании в Среднем Поволжье..... 44

М.Д. Метт, И.Ф. Лапочкина, И.Ю. Макарова
Оценка образцов яровой мягкой пшеницы для использования в селекции на скороспелость и устойчивость к болезням в Нечерноземной зоне РФ 48

Я.Е. Вильховой, Е.А. Вертикова
Оценка коллекционных сортообразцов яровой мягкой пшеницы в условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации..... 52

В.В. Фабричнова, Р.О. Михалев, А.Д. Симагин *(научный руководитель)*
Изучение коллекции пленчатых видов пшеницы в условиях ЦРНЗ РФ..... 57

А.А. Вязовой, А.Л. Бакунов, Н.В. Гулаева
Оценка перспективного материала картофеля по устойчивости к патогенам с использованием методов маркер-ассоциированной селекции 63

К.П. Королёв
EMS-индуктинг изменчивости прорастания семян у генотипов Linum usitatissimum L. 66

А.А. Тевченков, Е.В. Демьяненко
Оценка исходного материала сои на холодоустойчивость в условиях Липецкой области..... 69

А.И. Манухин, В.Б. Троц, Н.М. Троц
Влияние препарата «Ультра Си» на урожайность сои..... 73

Н.С. Чавдарь, А.Д. Рущук
Селекция кунжута индийского на неосыпаемость семян 76

С.Н. Нековаль, Ж.З. Тухужева, А.К. Чурикова
Оценка генетической коллекции томата ФГБНУ ФНЦБЗР на устойчивость к северной галловой нематоде Meloidogyne hapla 83

А.К. Чурикова, С.Н. Нековаль
Первичная оценка микроорганизмов в борьбе с Meloidogyne hapla в условиях *in vitro* и *in vivo* на томате 86

Ж.З. Тухужева, С.Н. Нековаль, В.В. Иванов
Определение наличия маркера аллели *Tm2* у коллекционных образцов томата 89

О.А. Маскаленко, С.Н. Нековаль, А.Е. Садовая
Оценка биологической эффективности микробиологического препарата Инсетим Плюс, Ж против галловых нематод на томате в условиях защищённого грунта 92

О.О. Тимина, О.Ю. Тимин
Экспресс-метод оценки расщепляющейся популяции Capsicum annuum L. по признаку «сумма капсаициноидов» 95

А.С. Трофимов, С.Р. Стрельникова, Р.А. Комахин
Потенциал промотора гена дефензина Sm-D1 из растения Stellaria media в сельскохозяйственной биотехнологии 99

М.В. Топорищева, И.Н. Коротких
Палинологические особенности Salvia officinalis L. 103

А.Р. Гафуров, А.И. Билык, А.В. Камышникова, В.Н. Юдина, Л.Л. Болдырева
Непрямой морфогенез Sorghum bicolor L. из коллекции КФУ им. В.И. Вернадского как основа биотехнологии создания новых селекционных достижений 107

К.Н. Бушмелева, С.С. Охотникова, Д.А. Теренжев, Т.Г. Белов
Оценка мембранопротекторной активности танинов Aronia melanocarpa 111

С.Ю. Серкова, Д.Д. Иванова
Влияние остаточного лигнина на выход сахаров при ферментативном гидролизе современными препаратами гликозил–гидролаз 116

В.А. Ли, О.Ю. Колосова, Н.А. Быстрова, В.И. Лозинский
Полимерные носители на основе криогелей поливинилового спирта с добавками производных ауксинов для сельского хозяйства 121

А.М. Никоноров, В.Б. Троц, Н.М. Троц
Использование промышленного отхода для удобрения кукурузы на зерно 124

O.O. Godswill
Biotechnological applications of microalgae for water, energy, and sustainable agriculture 128

УДК 631.95.58

ВКЛАД АКАДЕМИКА А.А. ЖУЧЕНКО В МИРОВУЮ НАУКУ

Александр Александрович Жученко мл.[1,2]*, д.б.н., профессор, академик РАН*
[1] ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства», Москва
[2] ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Тверь

Аннотация. Фундаментальные исследования академика А.А. Жученко в области частной и экологической генетики культурных растений, рекомбиногенеза, биомониторинга, агроэкологии, селекции, сортоиспытания и семеноводства растений, а также стратегии адаптивной интенсификации сельского хозяйства получили мировое признание.
Ключевые слова: адаптация, экологическая генетика, селекция, рекомбиногенез, агроэкология, биомониторинг в динамике.

CONTRIBUTION OF ACADEMICIAN A.A. ZHUCHENKO TO WORLD SCIENCE

Alexander Aleksandrovich Zhuchenko Jr.[1,2]*, Grand PhD in Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences*
[1] Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia
[2] Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

Abstract. The fundamental research of Academician A.A. Zhuchenko in the field of private and ecological genetics of cultivated plants, recombinogenesis, biomonitoring, agroecology, breeding, variety testing and seed production of plants, as well as strategies for adaptive intensification of agriculture have received worldwide recognition.
Keywords: adaptation, ecological genetics, breeding, recombinogenesis, agroecology, biomonitoring in dynamics.

Ученым России и зарубежных стран А.А. Жученко широко известен как видный ученый-биолог, который создал школу по экологической генетике (под его руководством защищено 61 докторских и кандидатских диссертаций), им опубликовано 665 научных работ, в т.ч. 25 монографий, получивших высокую мировую оценку ученых (см. рецензии на труды А.А.Жученко: Gichner T., Biologia plantarum, 1982, Vol.24, N6. P.406; Robbelen G., Z.fur.Pflanzenzucht. 1983. Bd 91, N1, S.86; Grebenschikov I., Biol. 5 Zentralblatt. 1984. Bd 103, N 4, S.103; см. публикации о А.А.Жученко: Rich V. Scientists take share of blame for this year,s poor Soviet harvest, Nature: intern. Weekly j. sci. 1987. Vol.329, N 6138.

P. 382; Zhuchenko Alexander, Who,s Who in the world: 9th edition 1989–1990. Wilmette (USA), 1990. Zhuchenko Alexander Alexsandrovich, Intern. Biogr. Centre: men of achievement. Cambridge, 1991, Scientific and research priorities of academicion A.A. Zhuchenko, Journal of ASM. Life Sciences, 2015 и многие другие). Президент РАН академик А.П.Александров высоко оценил вклад А.А.Жученко как по широте изучения факторов разного происхождения (генетических, морфологических и т.д.), вызывающих адаптационные процессы, так и по возможностям управления этими факторами как выяснения роли адаптивного потенциала у растений.

В 1968 году под руководством А.А.Жученко был открыт первый в мире памятник Н.И.Вавилову в городе Тирасполе на территории Молдавского НИИ орошаемого земледелия и овощеводства.

В середине XX века в селекции разных видов растений методологической основой, как правило, считалась общая генетика, модельным объектом которой была дрозофила. Мировой научный приоритет академика А.А.Жученко принадлежит в развитии первой частной генетики культурных растений на основе получения обширных многолетних экспериментальных данных комплексного изучения рода Lycopersicon Tourn., включая эволюцию, систематику, физиологию, эмбриологию, цитологию, математику, молекулярную биологию, изучение мировых коллекций по урожайным, морфологическим, физиологическим и цитологическим признакам. Создание линий, форм, мутантов, многомаркерных мутантов, урожайных, устойчивых к болезням и вредителям сортов, сортовой генеалогии, сортовой агротехники, пыльцевой селекции, гетерозисных гибридов, методологической основы баз данных по оценке частоты рекомбинаций, комбинационной способности, построении генетических и цитологических карт, совершенствовании вегетационных опытов, систем сортоиспытания и семеноводства, новых математических и статистических методов в растениеводстве и др.

Монография «Генетика томатов» (1973) стала первой частной генетикой культурных растений в мировой литературе, где впервые удалось раскрыть важнейшие генетические особенности модельного объекта томата как в общей генетике, так и в частной генетике при решении селекционно-семеноводческих и агротехнических задач. В 1974 году книге была присуждена первая золотая медаль Н.И.Вавилова. Она стала настольной книгой многих генетиков и селекционеров. Академик Христо Даскалов, давая высокую оценку «Генетике томатов» отметил, что все теоретические вопросы генетики рассмотрены в ней не оторвано, а целенаправленно, с учетом их практического использования в селекции. Академик П.М. Жуковский сказал, что даже пшеница не удостоилась такой монографии. В это время практически во всех НИИ открывались

лаборатории генетики, методологической основой которых была книга А.А. Жученко, что послужило росту урожайности не только томатов, а также овощных и зерновых культур.

Во второй половине XX века начался стремительный процесс «экологизации» многих биологических дисциплин. Ученых всех стран захватила проблема, как накормить человечество при повсеместном загрязнении окружающей среды, увеличении численности населения и зависимости урожаев от все новых капризов погоды? Как создавать новые адаптивные сорта, сочетающие урожайность, устойчивость и качество? В 1980 году вышла книга академика А.А. Жученко «Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз)», основанная на обширных экспериментальных данных по рекомбиногенезу у дрозофилы, томата, арабидопсиса, кукурузы, пшеницы, декоративных растений и др., полученных в построенном и созданном А.А. Жученко первом в мире институте Экологической генетики. В книге впервые рассматривается адаптивный потенциал культурных растений как функция взаимосвязи генетических систем онтогенетической и филогенетической адаптации. Рассмотрена устойчивость растений к абиотическим и биотическим стрессам, образование доступной генотипической изменчивости (на примере функционирования рекомбинационной системы), раскрыты взаимосвязь потенциальной продуктивности, экологической устойчивости и защиты растений на уровне сорта, агроценоза и агросистемы, а также средообразующая роль растений и агроценозов, разработана методология расширения уровня и спектра генотипической изменчивости растений за счет индуцированного рекомбиногенеза и снижения селективной элиминации рекомбинантов.

Школе академика РАН Жученко А.А. (1979–1987) принадлежит приоритет широкого практического и фундаментального применения дистанционного контроля за растениями. А.А. Жученко впервые сформулировал роль биомониторинга на уровне растения, популяции и агроландшафта в изучении адаптации в системе «генотип — среда». Впервые был создан проблемно-ориентированный информационно-измерительный комплекс для эколого-генетических и прикладных исследований, разработано приборное оснащение и автоматизация научных экспериментов в биологии, включая аэрофотоснимки агроценозов с вертолета и космическую программу по идентификации посевов из космоса с одновременным использованием круглосуточных наблюдений за динамикой показателей дистанционных и стационарных датчиков, фиксирующих рост и водные потоки растений, фотосинтез, транспирацию и температуру лист-воздух, водопотребление и формирование структуры урожая разных культур и сортов в фитотронах и на

полях. В результате, школа академика А.А. Жученко получила высшую оценку Президиума РАН, а институт Экологической генетики стал экспериментальной площадкой РАН. Впервые в мире было показано, что получить надежные сравнительные характеристики проявления и перераспределения адаптивно значимых и хозяйственно ценных количественных признаков у разных видов, сортов, гибридов и форм растений возможно только на основе одновременного и многопараметрового съема соответствующей информации в проблемно-ориентированных модулях, позволяющих не только регулировать параметры температуры, влажности, освещенности и минерального питания в заданных пределах, но и проводить оценку динамики изменения основных адаптивных реакций и их взаимосвязей. По предложению академика Б.Е. Патона и решению Президиума РАН институт стал Всесоюзным центром биологических исследований, где проводились совместные работы ученых нашей страны и зарубежных стран.

Академик Н.П. Дубинин говорил об одностороннем увлечении мутагенезом, что оставило в стороне могущественный фактор эволюции и селекции - рекомбиногенез. Академик С.Г. Инге-Вечтомов отметил большой вклад А.А. Жученко в развитии экологической генетики, который организовал первый институт экологической генетики. Профессор Калифорнийского университета Чарльз Рик отметил широкую перспективу, поднятую в работе А.А.Жученко, которая заслуживает высоких похвал.

В 80-е годы XX столетия школой А.А.Жученко впервые была оценена проблема всевозрастающей «цены» каждой дополнительной пищевой калории, где в книге «Энергетический анализ в сельском хозяйстве» (1983) экспериментально и теоретически показано, что увеличение затрат при интенсификации сельскохозяйственного производства часто является своеобразной «платой» за разрушение биологического равновесия в агроэкосистемах, в основе чего лежат генетическая однородность культивируемых растений на видовом, популяционном и организменном уровнях, а также изменение структуры подсистем агробиоценоза вследствие наращивания затрат по использованию удобрений и средств защиты растений от болезней и вредителей. Так, удвоение урожайности важнейших сельскохозяйственных культур требует десятикратного увеличения затрат исчерпаемых ресурсов, в т.ч. минеральных удобрений, пестицидов, средств механизации и др. Если в условиях экстенсивного растениеводства на каждую единицу антропогенной энергии удавалось получать 40–50 пищевых калорий, то при химико-техногенной его интенсификации - лишь 2–4, т.е. в 10–20 раз меньше. В данной работе дан анализ стратегии обеспечения роста продуктивности агроэкосистем, ориентированной на более эффективную

утилизацию естественных энергоресурсов, где первостепенное внимание должно быть уделено наиболее рациональному использованию почвенно-климатических условий в каждой из зон возделывания сельскохозяйственных растений, а также выбору оптимального типа организации агроэкосистемы. При этом наиболее важная и трудная задача селекции и агротехники заключается в преодолении или хотя бы снижении экспоненциального роста затрат исчерпаемых ресурсов энергии на каждую дополнительную единицу и пищевой калории.

Именно это обстоятельство и определяет парадоксальность сложившейся к началу XXI столетия ситуации в растениеводстве, суть которой состоит в том, что отрасль, базирующаяся на использовании самых энергоэкономных организмов - пойкилотермных растений, «питающихся» за счет неограниченных и экологически безопасных ресурсов Солнца и атмосферы (CO_2, N, O_2), оказалась в числе наиболее ресурсоэнергорасточительных и природоопасных. Поэтому истинный смысл применения химико-техногенных факторов (удобрений, мелиорантов, пестицидов, орошения и др.) состоит вовсе не в «замене» ими фотосинтеза, транспирации, дыхания и других, свободно протекающих в растениях, в почве и агробиогеоценозах процессов, а в управлении с помощью малых потоков антропогенной энергии максимальной утилизации агрофитоценозами больших потоков энергии Солнца. Поэтому неслучайно все большее развитие получают исследования в области ауто-и синэкологической генетики популяций, фитоценотической и симбиотической генетики и селекции культивируемых растений.

В экологической генетике культурных растений в качестве основного предмета исследований выступает соответствующий адаптивный потенциал культурных растений, рассматриваемый в качестве функции составляющих его генетических программ онтогенетической и филогенетической адаптации, а также эффектов в их взаимосвязи. Такой подход А.А. Жученко обусловлен, в первую очередь, двойной природой самого процесса адаптации, достигаемой организмами за счет модификационной и генотипической изменчивости. Такая функциональная структуризация адаптивного потенциала уходит своими корнями к работам Дарвина, Бауэра, Дарлингтона, Лайзера и других. Заметим, что если еще в XIX столетии проблема адаптации была центральной в биологии и синтетической теории эволюции, то в настоящее время она стала таковой и в экономике, технике, политике и пр.

Фундаментальные исследования А.А. Жученко защищены 24 авторскими свидетельствами и изложены в уникальных монографиях: «Генетика томатов» (1973); «Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз)» (1980); «Адаптивный потенциал культурных

растений (эколого-генетические основы)» (1988); «Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы)» (1990); «Стратегия адаптивной интенсификации сельского хозяйства» (1994); «Фундаментальные и прикладные научные приоритеты адаптивной интенсификации растениеводства в XXI веке» (2000); «Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы)», в двух томах (2001); «Экологическая генетика культурных растений» (2003); «Экологическая генетика культурных растений и проблемы агросферы (теория и практика)», в двух томах (2004); «Ресурсный потенциал производства зерна в России (теория и практика)» (2004); «Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы). Теория и практика», в трех томах (2008, 2009); «Экологическая генетика культурных растений как самостоятельная научная дисциплина. Теория и практика» (2010); «Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии (эколого-генетические основы). Теория и практика» в двух томах (2009, 2011); «Мобилизация генетических ресурсов цветковых растений на основе их идентификации и систематизации» (2012); «Роль мобилизации ресурсов цветковых растений, их идентификации и систематизации в формировании адаптивно-интегрированной системы защиты агроценозов, агроэкосистем и агроландшафтов» (2012) и другие.

Теоретические положения академика Жученко об адаптивном потенциале культурных растений открывают принципиально новые возможности управления их адаптивными реакциями как в онтогенезе (сортовая агротехника, агроэкологическое макро-, мезо -и микрорайонирование сельскохозяйственной территории, конструирование адаптивных агроэкосистем и агроландшафтов, адаптивно-интегрированная система защиты растений), так и в филогенезе (адаптивная система селекции, обеспечивающая функциональную взаимосвязь этапов создания новых сортов и гибридов, их государственного испытания, организации семеноводства, а также развитие качественно новых направлений селекции (биоценотической, биоэнергетической, симбиотической, эдафической, экологической, дизайно-эстетической и др.).

А.А. Жученко активно участвовал в научной и общественной жизни России, являлся председателем фонда им. А.Т.Болотова, председателем редакционного совета журнала «Сельскохозяйственная биология», членом бюро научного совета РАН по проблемам экологии и чрезвычайным ситуациям, членом редакционного совета журнала «Экологическая генетика», членом Президиума Центрального совета Вавиловского общества генетиков и селекционеров (ВОГиС) и вице-президентом ВОГиС, членом редакционного совета журнала «Генетика», членом бюро Отделения растениеводства Россельхозакадемии. Научные заслуги А.А. Жученко отмечены многими

государственными наградами, почетными дипломами и грамотами, он является заслуженным деятелем науки Российской Федерации, награжден орденами Ленина (1966), Октябрьской Революции (1973), тремя орденами Трудового Красного Знамени (1971, 1981, 1985), орденом «За заслуги перед Отечеством» IV степени (2006), Золотой медалью им. Н.И. Вавилова (1974) и др. Академик А.А.Жученко внес огромный вклад в развитие отечественной науки. Александр Александрович известен не только как выдающийся ученый в области генетики и агроэкологии, но и как талантливый стратег и организатор научных исследований в области агропромышленного комплекса.

УДК 631.95.58

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА АКАДЕМИКА А.А. ЖУЧЕНКО

Ирина Тимофеевна Балашова [1], д.б.н.,
Юрий Валентинович Чесноков [2], д.б.н., член-корреспондент РАН,
Игорь Валентинович Ущаповский [3], к.б.н.,
Александр Александрович Жученко мл.[3,4], д.б.н., профессор, академик РАН
[1] ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Москва
[2] ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»
[3] ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь
[4] ФГБНУ «Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства», Москва

Аннотация. В статье приведен краткий обзор международной научной деятельности А.А. Жученко, его вклада в создание научной школы, воспитавшей плеяду известных ученых в области генетики.

Ключевые слова: генетика, экологическая генетика, рекомбиногенез, научная школа, селекция сельскохозяйственных культур.

THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC SCHOOL OF ACADEMICIAN A.A. ZHUCHENKO

Irina Timofeevna Balashova [1], Grand PhD in Biological Sciences,
Yuri Valentinovich Chesnokov [2], Grand PhD in Biological Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences,
Igor Valentinovich Uschapovskiy [3], PhD in Biological Sciences,
Alexander Aleksandrovich Zhuchenko Jr.[3,4], Grand PhD in Biological Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences
[1] Federal Scientific Center for Vegetable Growing, VNIISSOK, Russia
[2] Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia
[3] Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia
[4] Federal Horticultural Research Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Annotation. The article provides a brief overview of the international scientific activities of A.A. Zhuchenko and his contribution to the creation of a scientific school that educated a galaxy of famous scientists in the field of genetics.

Keywords: genetics, ecological genetics, recombinogenesis, scientific school, crop breeding.

Международная научная деятельность Александра Александровича Жученко начала формироваться в студенчестве во время учёбы в Высшем

сельскохозяйственном институте имени Коларова (г. Пловдив, Народная Республика Болгария). Его учителем был выдающийся болгарский генетик, специалист в области гетерозиса растений, академик Болгарской Академии наук Христо Даскалов, дружбу с которым он сохранит на долгие годы. Необходимо отметить, что профессор Христо Даскалов являлся международным членом Всесоюзной Академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина (ВАСХНИЛ).

Последующая Работа в Молдавской ССР сначала на Кагульской опытной станции (1960-1963), а затем и на производстве (директор совхоза «Семилетка» Кагульского района, 1963-1966 гг.) убедила его в необходимости скорейшего внедрения достижений современной генетики в практическую селекцию. Поэтому с приходом на работу в качестве директора Молдавского НИИ орошаемого земледелия и овощеводства (г. Тирасполь, 1967), он первым делом едет в США к известному генетику и селекционеру – профессору Калифорнийского университета, доктору Рикку – и возвращается оттуда с семенами генетической коллекции маркерных мутантов томата. Эта коллекция на долгие годы становится не только объектом исследования целой плеяды учёных лаборатории частной генетики томата (генетиков: М.М. Король, С.К. Корочкиной, Ю.И. Нютина; математиков-аналитиков: А.Б. Короля, В.П. Нестерова; цитологов: А.И. Косовой, В.Т. и М.И. Грати; биофизиков: Д.А. Выродова и В.В. Медведева; биохимиков: В.К. Андрющенко, А.А. Выродовой; фитопатологов: Н.Н. Балашовой, О.О. Тиминой, В.С. Рущук), но ценным исходным материалом для ускоренной селекции новых сортов и гибридов с устойчивостью к стрессам, высоким качеством плодов, повышенной продуктивностью и стабильно высокой урожайностью (Новинка Приднестровья, Нистру, Факел и др.). Фундаментальные исследования генетической коллекции маркерных мутантов, закреплённые в кандидатских и докторских диссертациях сотрудников, явились основой для создания выдающейся монографии «Генетика томатов» (1973), которая до сих пор остаётся настольной книгой для многих поколений селекционеров (рис. 1). За эту монографию А.А. Жученко в 1974 году была присуждена учёная степень доктора биологических наук.

Период работы Александра Александровича в качестве директора Молдавского НИИ орошаемого земледелия и овощеводства (1967-1978) отмечен тем, что институт приобрёл европейскую известность. Его неоднократно посещают учёные из Франции (INRA, г. Бордо), Нидерландов (Международный научный центр, г. Вагенинген), Югославии (Институт полевых и овощных культур, г. Нови Сад) и других западных стран. В Молд.НИИОЗиО проходят совещания исследователей из социалистических стран, входящих в Совет Экономической Взаимопомощи (СЭВ), заключаются двусторонние соглашения, в рамках которых проводятся совместные генетические исследования и происходит обмен ценным исходным материалом.

В этот же период институт становится площадкой для производственной практики студентов из многих ВУЗов Советского Союза, в том числе

иностранных студентов из стран Латинской Америки, Ближнего Востока и Африки, обучающихся в Сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева и Университете Дружбы народов имени Патриса Лумумбы (г. Москва). Растут и собственные научные кадры. Помимо многочисленных кандидатских диссертаций, защищаются и докторские работы. Наиболее известные из них: докторская диссертация сотрудника лаборатории частной генетики и соратницы А.А. Жученко Н.Н. Балашовой «Фитофтороустойчивость рода Lycopersicon Tourn. и методы использования её в селекции томата» (1977) и докторская диссертация ученика А.А. Жученко А.Б. Короля «Изменчивость кроссинговера у высших организмов» (1987).

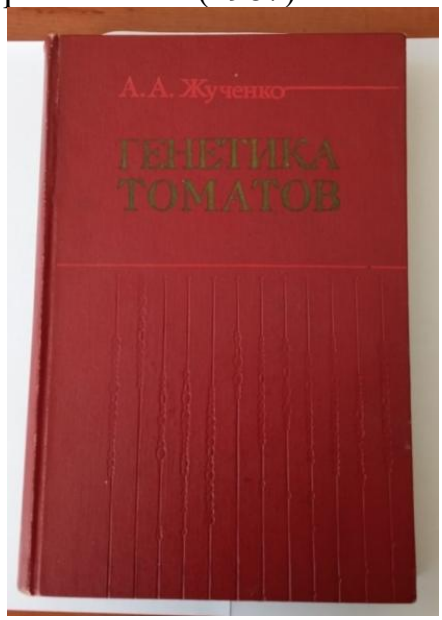


Рис. 1. Монография А.А. Жученко «Генетика томатов» (1973 г.)

Плодотворная научная деятельность А.А. Жученко на посту директора МолдНИИОЗиО, а затем и генерального директора научно-производственного объединения «Днестр» не осталась незамеченной. В 1976 году его избирают академиком Академии наук Молдавской ССР, и приглашают на работу в столицу республики - город Кишинёв. А в 1978 году академика А.А. Жученко избирают Президентом Академии наук Молдавии. Работа на стыке науки и сельскохозяйственного производства в НПО «Днестр» убеждает А.А. Жученко в необходимости обеспечения современного сельского хозяйства глубокими фундаментальными исследованиями. Как Президент Академии наук Молдавии, Александр Александрович сумел фундаментальные разработки в области химии, физики и математики направить в «прикладное русло» и поставить на службу сельскому хозяйству республики. Он организует сначала межведомственную лабораторию экологической генетики (1978), а затем строит Институт экологической генетики (1980), который сразу приобретает статус одного из ведущих научных учреждений Европы.

Помимо генетических основ селекции сельскохозяйственных культур, в институте начинают изучать механизмы адаптации растений к абиотическим и биотическим стрессам на разных уровнях организации живых организмов: молекулярном, клеточном, тканевом, органном (микрогаметофит и спорофит),

на уровне интактного растения и популяции. Для этого в институте строят Биотрон, в котором в on-line- режиме моделируют стрессовые ситуации и следят за реакцией растений. Состояние популяций оценивают с земли, с воздуха - с помощью аэрофотосъёмки, а также из космоса (в сотрудничестве с Центром Космических исследований). Результаты фундаментальных и прикладных разработок отражены в многочисленных публикациях сотрудников Института, но наиболее полно – в монографии академика А.А. Жученко «Экологическая генетика культурных растений» (Кишинёв: Штиинца, 1980, 587с.-Илл.) (рис. 2).

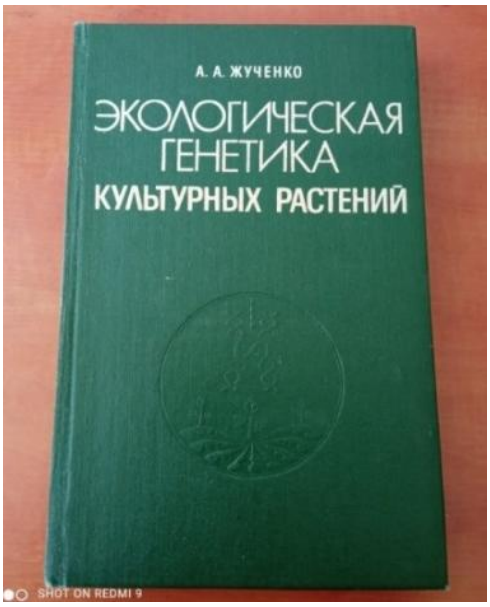


Рис. 2. Монография А.А. Жученко «Экологическая генетика культурных растений» (1980 г.)

Масштабные исследования проводятся в сотрудничестве учёных 3-х академий: Академии наук Белорусской ССР, Академии наук Украинской ССР и Академии наук Молдавии. Результат – сборник трудов «Генетические методы ускорения селекционного процесса» (Кишинёв : Штиинца, 1986) (рис. 3).

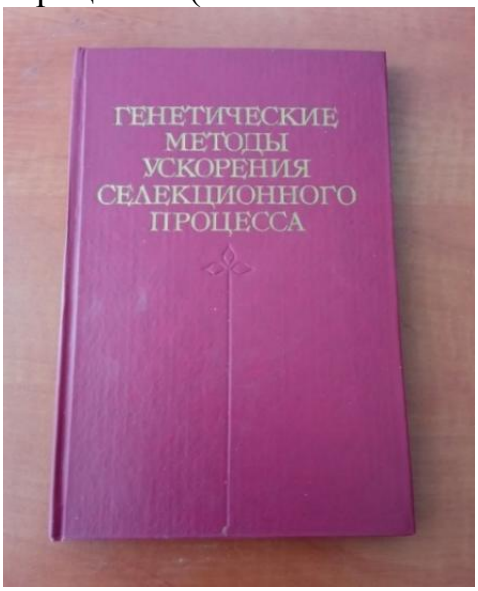


Рис. 3. Сборник трудов «Генетические методы ускорения селекционного процесса» (1986 г.)

В Институте экологической генетики работает аспирантура, в которой наряду с аспирантами из различных научных учреждений Молдавии обучаются иностранцы. Поступить в аспирантуру ИЭГ считается престижным, и отбор аспирантов ведётся на конкурсной основе. Подготовка будущих кандидатов наук проводится на самом высоком уровне. А научный сотрудник ИЭГ с кандидатской степенью должен был публиковать не менее 5 печатных работ ежегодно, иначе его переводили в младшие научные сотрудники с понижением зарплаты. Разумеется, что с такой отличной теоретической и практической подготовкой из Института Экологической генетики вышло немало известных учёных, которых не только не «сломила» тяжёлая политическая и экономическая ситуация 1990-х годов, но которые добились выдающихся успехов как у нас в стране, так и за рубежом. Назовём далее только некоторые имена.

Король Абрам Бенционович (род. 1946 г.) – первый ученик академика А.А. Жученко, известный советский и израильский генетик, учёный в области вычислительной геномики и биоинформатики. Директор Института Эволюции Университета г. Хайфы (Израиль, 2008-2013) (рис. 4).

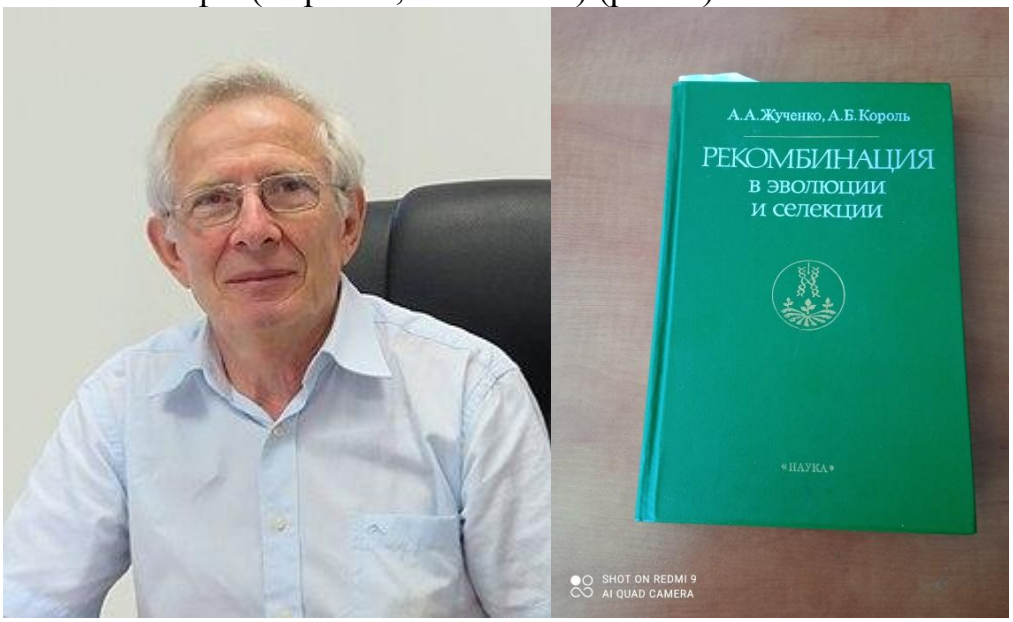


Рис. 4. А.Б. Король; совместный труд А.А. Жученко и А.Б. Король – Рекомбинация в эволюции и селекции растений (1985)

Кандидатскую диссертацию защитил в период работы в Молдавском НИИ орошаемого земледелия и овощеводства в 1976 году. Защита диссертации проходила в Институте общей генетики Академии наук СССР. В 1983 году возглавил лабораторию генетической рекомбинации в Институте Экологической генетики Академии наук Молдавской ССР. В 1987 году защитил диссертацию на соискание учёной степени доктора биологических наук на тему: «Изменчивость кроссинговера у высших организмов».

С 1991 года живёт и работает в Израиле. В Институте эволюции Университета г. Хайфы организовал и возглавил лабораторию математической и популяционной генетики, отделение популяционной генетики и вычислительной биологии. В 1996 году его назначают профессором, а в 2008

году - директором Института эволюции Университета г. Хайфы. Индекс Хирша 65 (май, 2023).

Является лауреатом Государственной премии Молдавской ССР в области науки и техники (1986), имеет также и международные награды.

Основные труды:

- *А. А. Жученко, А. Б. Король. Рекомбинация в эволюции и селекции растений. М.: Наука, 1985. — 400 с.;*
- *А. Б. Король, И. А. Прейгель, С. И. Прейгель*. Изменчивость кроссинговера у высших организмов: методы анализа и популяционно-генетические модели. Кишинёв: Штиинца, 1990. — 404 с.;
- *A. B. Korol, I. A. Preygel, S. I. Preygel*. Recombination Variability and Evolution: Algorithms of estimation and population-genetic models. London: Chapman & Hall; New York: Springer, 1994. — 362 p.;
- *E. Nevo, A. B. Korol, A. Beiles, T. Fahima*. Evolution of Wild Emmer Wheat: Population Genetics, Genetic Resources, and Genome Organization of Wheat's Progenitor, Triticum dicoccoides. New York: Springer-Verlag, 2002. — 280 p.

Балашова Наталья Николаевна (1929-2013 гг.) – соратник академика А.А. Жученко, доктор сельскохозяйственных наук (1977), профессор (1984), член-корреспондент Академии наук Молдавской ССР (1985). Известный советский и российский фитоиммунолог, специалист в области генетики иммунитета и устойчивости растений, а также в области гаметной селекции. Заместитель директора по научной деятельности Института Экологической генетики Академии наук МССР (1985-1991) (рис. 5).

Рис. 5. Н.Н. Балашова; один из трудов А.Н. Балашовой («Фитофтороустойчивость рода Lycopersicon Tourn. и методы использования ее в селекции томата»)

С 1991 года живёт и работает в Российской Федерации. В 1992 году назначена заместителем директора по науке ГНУ «Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур» (ВНИИССОК, Московская область). Одновременно она заведует лабораторией гаметной селекции, являясь

ответственным исполнителем Межгосударственной Программы стран СНГ (Белоруссии, России, Украины, Молдовы и Узбекистана) «Генетические основы селекции сельскохозяйственных растений» Государственного Комитета по науке и технике, возглавляемого академиком А.А. Жученко. Научная школа: 30 кандидатов наук и 5 докторов наук. Н.Н. Балашовой лично и в соавторстве опубликовано более 400 научных работ, в числе которых 14 книг и монографий. Она являлась соавтором 70 изобретений и патентов, а также 7 сортов овощных культур.

Награды: лауреат Государственной премии Молдавской ССР в области науки и техники (1986); Почётный знак «Заслуженный изобретатель СССР» (1987); Медаль «Ветеран труда» (1991); Академик Международной Академии Информатизации (МАИ) при организации Объединённых Наций (ООН) (2000); Медаль «Международный учёный года» (Кембридж, Великобритания, 2004).

Основные труды:

- *Балашова Н.Н.* Фитофтороустойчивость рода Lycopersicon Tourn и методы использования её в селекции томата. Кишине:Штиинца. 1979:167с.;
- *Жученко А.А., Балашова Н.Н., Король А.Б., Самовол А.П., Грати В.Г., Кравченко А.Н., Добрянский В.А., Смирнов В.А., Бочарникова Н.И.* Эколого-генетические основы селекции томатов. Кишинев: Штиинца.1988:449с.;
- *Балашов Т.Н., Гужов Ю.Л., Балашова Н.Н., Веденеску С.Н., Куниченко Н.А.* Селекция и семеноводство овощных бобовых культур. Кишинев: Штиинца.1989:279с.;
- *Пивоваров В.Ф., Добруцкая Е.Г., Балашова Н.Н* Экологическая селекция сельскохозяйственных растений (на примере овощных культур). Москва: Моспромстройматериалы.1994: 247с.;
- *Юрина О.В., Пивоваров В.Ф., Балашова Н.Н.* Селекция и семеноводство тыквенных культур в России. Москва: ВНИИССОК. 1998: 424с.;
- Методические указания по гаметной селекции сельскохозяйственных растений (методология, результаты, перспективы): Москва, 2001: 386с.

Жученко Александр Александрович-младший (род. 1958) – доктор биологических наук (1996), профессор (1999), академик Российской Академии наук (2013), почётный профессор Цзилиньского университета Китая (2022). Известный российский учёный в области генетических ресурсов растений, средоулучшающих технологий, генетики и селекции растений.

1990-1997 гг. - заведующий лабораторией генетики льна и заместитель директора по научной работе Всероссийского НИИ льна (г. Торжок). 1997-2004 - заместитель директора по научной работе и руководитель Научно-исследовательского центра Всероссийского НИИ лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР, г. Москва). 2004—2005 — директор Всероссийского НИИ карантина растений. С 2005 года — директор Научного центра «ЭкоВИЛАР». Одновременно (1999—2007) преподаёт в Российском университете дружбы народов (профессор кафедры генетики и селекции). 2010-1012 - профессор кафедры растениеводства Российского государственного аграрного заочного университета. Член FAO Flax Network (1993-1997). С 2010

года включен в состав Экспертного совета при Комитете Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и рыбохозяйственному комплексу. Председатель Международного союза «Национальная коллекция русского льна» (1995—2002). Член Национальной ассоциации специалистов восстановительной медицины (АСВОМЕД; с 2006), член ассоциации междисциплинарной медицины (с 2013), и.о. председателя фонда им. А.Т. Болотова с 2013 г., почетный профессор с 2022 г. Цзилиньского университета Китая, руководитель Чанчуньской международной биотехнологической лабораторией лубяных культур с 2022 года.

Руководитель международного проекта «Евролён» (1991—2001). Под его руководством создана Национальная коллекция русского льна, признанная экспертами ФАО ООН лучшей в мире. В 2006—2009 годах А.А. Жученко-младший возглавлял инновационный проект «Средоулучшающие фитотехнологии». В научных работах А.А. Жученко показана роль мировых генетических центров происхождения культурных растений в экологической и фитосанитарной безопасности. Он активно развивает новое научное направление по экофитозащите мегаполисов на основе мобилизации мировых генетических ресурсов растений и создания средоулучшающих фитотехнологий. Научная школа: 4 кандидата наук и 4 доктора наук. В 2000-2004 годах являлся заместителем Председателя Совета по защите кандидатских и докторских диссертаций ГНУ «Всероссийский институт лекарственных и ароматических растений» (ВИЛАР). С 2008 года – член Диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций при Всероссийском селекционно-технологическом институте садоводства и питомниководства (ВСТИСП). Автор более 300 (40 опубликовано за рубежом) научных работ, в том числе 7 монографий, 15 авторских свидетельств и патентов на изобретения. Соавтор 10 сортов томата, льна, лекарственных растений.

Имеет следующие награды: Золотая медаль «За вклад в развитие Агропромышленного комплекса России» (2008); орден В.И. Вернадского за цикл работ по эволюции человека (2022); диплом Президиума Россельхозакадемии «За лучшую завершённую научную работу»: «Атлас лекарственных растений России» (2006); диплом Президиума Россельхозакадемии «За лучшую завершённую научную работу»: «Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца» (2009).

Основные труды:

- *Жученко А. А.* Формирование рекомбинационной изменчивости на органном, организменном и популяционном уровнях у высших растений : Дис. д-ра биол. наук. — СПб., 1996. — 49 с.;
- *Жученко А. А. –мл.* Архитектура репродуктивной системы томата (генетический подход). — Кишинев: Штиинца, 1990. — 202 с.;
- *Жученко А. А. –мл.* Национальная коллекция русских сортов льна /Всерос. НИИ льна. — Торжок, 1997.— 200 с.;
- *Жученко А. А. –мл.* Мобилизация генетических ресурсов льна / соавт.: Т.А. Рожмина.; Всерос. НИИ льна. — Старица, 2000. — 224 с.;

- Концепция научного обеспечения фитосанитарной карантинной безопасности АПК РФ / Всерос. НИИ карантина растений. — М., 2004. — 40 с.;
- *Жученко А. А.–мл.* Атлас лекарственных растений России / соавт.: Быков В.А., Зайко Л.Н. и др.; Всерос. НИИ лекарств. и аромат. растений. — М., 2006. — 345 с.;
- Мобилизация мировых генетических ресурсов и средоулучшающие фитотехнологии / Рос. ун-т дружбы народов. Учебное пособие — М., 2007. — 148 с.

Чесноков Юрий Валентинович (род. 1960) – доктор биологических наук (2000), член-корреспондент Российской Академии наук (2022). Известный европейский учёный в области растениеводства, частной генетики, молекулярной биологии, биотехнологии, а также агрофизических и физико-химических методов изучения генетических ресурсов растений.

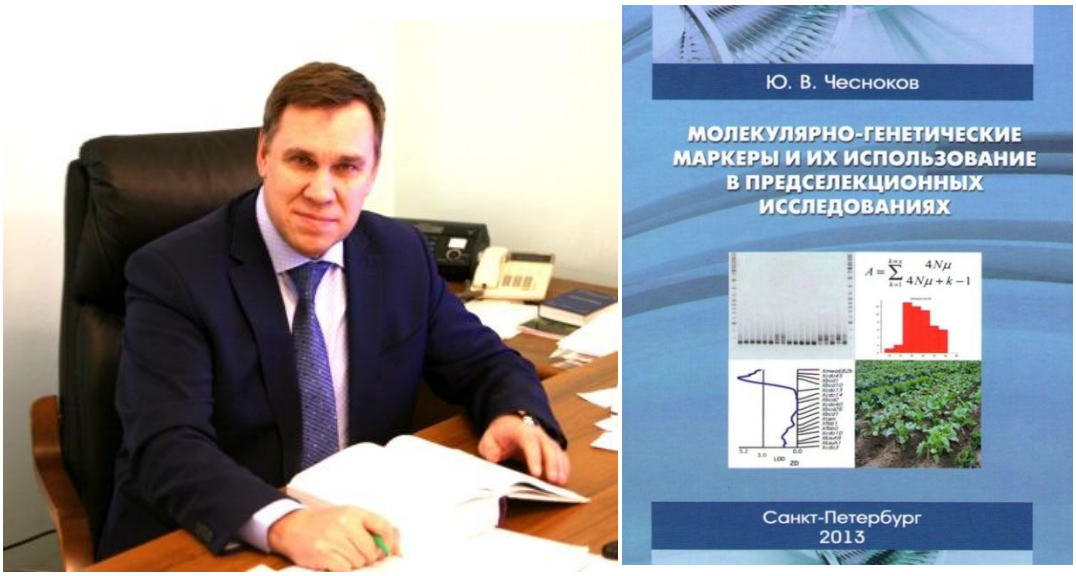


Рис.6. Ю.В. Чесноков; один из трудов Ю.В. Чеснокова («Молекулярно-генетические маркеры и их использование в предселекционных исследованиях»)

Обучался в аспирантуре Института Экологической генетики (1986-1989 гг.), кандидатскую диссертацию по специальности «Генетика» защитил в Институте генетики и цитологии Академии наук Белорусской ССР (1989). После успешной работы в Институте Экологической генетики (1989-1996) Юрий Валентинович переезжает на работу в Федеративную Республику Германию. С 1996 по 2001 гг. работает сотрудником Института генетики растений и исследования возделываемых культур (г. Гатерслебен, Германия), заместителем руководителя научной лаборатории (1998-2000 гг.), научным директором и руководителем направления прикладных проблем молекулярной биотехнологии растительных клеток и тканей Биотехнологической компании NovoPlant GmbH (2000-2001).

В 2001 году после успешной защиты докторской диссертации во Всероссийском НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова – ВИРе (2000) Ю.В. Чесноков переезжает в Российскую Федерацию. С 2002 по 2016 годы работает в ГНУ «Всероссийский НИИ растениеводства имени Н.И. Вавилова (ВИР)»

заместителем директора по науке. Одновременно он возглавляет Экспериментально-Методический Пребридинговый центр (ЭМПЦ) и заведует лабораторией молекулярной и экологической генетики (МЭГ) ВИР. В 2017 году Ю.В. Чесноков становится директором ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт».

Основные результаты научной деятельности Чеснокова Ю.В.:

- впервые в Российской Федерации на основе QTL и ассоциативного картирования, предложена эффективная стратегия скрининга, в том числе цифрового, образцов ГРР с целью её практического применения в отечественной селекции и для ускорения селекционного процесса;
- впервые в мире разработана уникальная биотехнологическая система отбора эмбриогенных, способных к росту и развитию клеток сельскохозяйственных растений, на которую был получен международный патент;
- впервые разработана и предложена концепция комплексной неинвазивной оценки морфо-физиологического состояния с/х растений в строго контролируемых, тепличных и полевых условиях произрастания на основе агрофизических методов определения оптических индексов, флуоресценции и фитофитинизации листовых пластинок с целью мониторинга состояния растений, прогноза урожая и выделения перспективных и высокопродуктивных генотипов;
- впервые в мире разработан и введен в действие единственный на сегодня ГОСТ Р 59603-2021 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы цифровой рентгенографии»;
- впервые в истории науки под руководством Ю.В. Чеснокова сотрудниками АФИ предложена и успешно апробирована оригинальная бессубстратная технология выращивания овощных и бахчевых культур на российской научной станции «Восток» в условиях Антарктики.

Автор 384 научных работ. Из них: 8 монографий, 4 каталога, 1 методическая рекомендация и 22 авторских свидетельства и патента, включая 10 патентов на сорта с/х растений. Научная школа: под руководством Ю.В. Чеснокова защищено 2 докторских диссертации, проходят подготовку 3 аспиранта. В 2022 г. Ю.В. Чесноков избран членом-корреспондентом РАН. В настоящий момент - член Президиума Санкт-Петербургского отделения РАН, заместитель Председателя объединенного научного совета по Агробиотехнологиям и продовольственной безопасности СПбО РАН. Является экспертом Минобрнауки, Минсельхоза и Экспертного совета при Комитете по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Совета Федерации Федерального Собрания России.

Имеет следующие награды: Почётная грамота и Благодарственное письмо Министерства науки и образования Российской Федерации; Почётная грамота Комитета по науке и высшей школе города Санкт-Петербурга; Почетный знак «За заслуги перед Калининским районом города Санкт-Петербурга»;

юбилейная медаль «300 лет Российской академии наук»; высшая награда Академии наук Молдовы медаль «Николае Милеску-Спэтарул».

Основные труды:

- *Чесноков Ю.В., Король А.Б.* Перенос чужеродных генов в интактные растения кукурузы посредством процесса опыления-оплодотворения // Генетика, 1993. Т.29. N8. С.1345-1355;
- *Chesnokov Yu.V.,* Manteuffel R. Dose effect of UV-B irradiation on pollen tube growth and seed-specific promoter activities in irradiated pollen grains of Nicotiana plumbaginifolia // Sexual Plant Reproduction. 2000. V.12, N6. P.361-364;
- *Чесноков Ю.В.* Картирование локусов количественных признаков у растений. СПб., ВИР. 2009. 100 с.;
- *Чесноков Ю.В., Кочерина Н.В., Косолапов В.М.* Молекулярные маркеры в популяционной генетике и селекции культурных растений. М.: ООО «Угрешская Типография». 2019. 200 с.;
- *Soleimani B., Lehnert H., Babben S., Keilwagen J., Koch M., Arana-Ceballos F.A., Chesnokov Y., Pshenichnikova T., Schondelmaier J., Ordon F., Börner A., Perovic D.* Genome wide association study of frost tolerance in wheat. // Scientific Reports. 2022. V.12, (1). P.5275;
- *Kanash E.V., Sinyavina N.G., Rusakov D.V., Egorova K.V., Panova G.G., ChesnokovYu.V.* Morpho-physiological, chlorophyll fluorescence, and diffuse reflectance spectra characteristics of Lettuce under the main macronutrient deficiency // Horticulturae. 2023. V.9. 1185.;
- *Панова Г.Г., Левинских М.А., Новак А.Б., Родькин В.В., Тепляков А.В., Балашова И.Т., Артемьева А.М., Швед Д.М., Удалова О.Р., Мирская Г.В., Кулешова Т.Э., Хомяков Ю.В., Вертебный В.Е., Чесноков Ю.В.* Влияние природно-географических условий на растения карликовых форм томата в сооружениях защищенного грунта различного типа. Сельскохозяйственная биология. 2024. Т. 59, № 5. С. 910-926.

Шабала Сергей Николаевич (род. 1960) – доктор биологических наук и профессор Университета Тасмании (2011), руководитель лаборатории физиологии стресса (School of Agricultural Science, University of Tasmania), профессор Университета Западной Австралии (2023 г., г. Перт), содиректор Австралийско-китайского научного центра по биологии стресса у растений. Известный австралийский учёный с мировым именем в области физиологии стресса у растений, мембранного транспорта, биофизики, клеточной биологии. Окончил Кишинёвский политехнический институт – Молдавская ССР (1984): бакалавр (диплом с отличием). Кандидатскую диссертацию защитил в 1989 году по специальности «физиология растений» в Институте Экспериментальной ботаники (Минск, Белорусская ССР). Научный сотрудник Института Экологической генетики (1984-1995).

С 1995 года живёт и работает в Австралии, (Университет Западной Австралии, г. Перт): стипендиат (1995-1998), ассистент преподавателя (1998-1999), преподаватель (1999-2003), старший преподаватель (питание растений) (2003-2006), доцент (физиология растений) (2006-2010), профессор

Университета Тасмании (2011-2023). Профессор Университета Западной Австралии (2023 по наст. время). Профессор Шабала работает и преподаёт во многих научных учреждениях и университетах мира: приглашенный научный сотрудник Университета Вашингтона (Сиэттл, США) и Университета Гронингена, Нидерланды (2000-2001); приглашенный профессор Университета Колима, Мексика (2001-2006, 2007); приглашенный научный сотрудник Институт молекулярной патологии растений Министерства сельского хозяйства США (US Department of Agriculture – U SDA) (2006-2007); приглашенный профессор Университета Вербурга, Германия (2007); приглашенный профессор Автономного университета Барселоны (2012); приглашенный профессор Университета Флоренции (2013).

а

б

в

Рис. 7. *а,б,в* – фото из архива С.Н. Шабала

Основные достижения: позиция в рейтинге «Топ 0,5 %» ученых по версии Thomson ISI Essential Science Indicators; за последние 15 лет от фондов по конкурсу получено грантов 1-й категории в размере около 6 млн. долларов; отредактированы 4 книги для ведущих мировых издательств (Springer; Humana; CABI); с 2000 года прорецензировано ~500 рукописей для 70 международных научных журналов, в том числе Science, Plant Cell, Plant J., Plant Physiology;

подготовлено ~150 презентаций на национальных и международных конференциях; получено 12 патентов; по приглашению сделано 25 докладов на крупнейших международных конференциях (включая три Гордоновские научные конференции) и более 40 – на институтских конференциях в 17 странах; за последние 10 лет подготовлены отзывы на 18 кандидатских и докторских диссертаций; прорецензированы примерно 100 заявок на гранты, поданных в основные национальные фонды 14 стран, включая the ARC, BBSRC (Великобритания), USDA, NSF (США), NSERC (Канада), Австрия, Израиль, Голландия, Швейцария, Чехия, Южная Африка, Катар, Россия, Польша, Сербия; сотрудничество более чем с 40 лабораториями из 24 стран; в руководимой лаборатории были приняты 40 иностранных гостей из 12 стран; под его научным руководством защищены 58 кандидатских и 2 докторских диссертации; в настоящее время осуществляет руководство 23 кандидатскими работами и одной докторской.

Награды: Премия Вице-канцлера за выдающиеся научные достижения (2009, Университет Тасмании); Премия Дина за выдающиеся научные достижения (2013, FSET; Университет Тасмании); Премия Дина за выдающиеся научные достижения (2006, FSET; Университет Тасмании); Премия Альфа Андерсона (Австралия) (1999); Премия Кабинета министров Украины за выдающиеся научные результаты (1994-1995).

Опубликовано свыше 500 печатных работ в ведущих научных изданиях мира. Основные труды:

- Mancuso S., Shabala S. (2007) Rhythms in Plants: phenomenology, mechanisms and adaptive significance. Springer, Heidelberg . 361 pp.;
- Mancuso S., Shabala S. (2010) Waterlogging signalling and tolerance in plants. Springer, Heidelberg. 294 p. ISBN 978-3-642-10304-9.;
- Shabala S. (2012) Plant Stress Physiology. CAB International, Oxford. 311 p. ISBN 978-1-84593-995-3.;
- Shabala S., Cuin T.A. (2012). Plant Salt Tolerance: Methods and Protocols. Humana Press, Springer, New York. 432 p. ISBN 978-1- 61779-985-3.;
- Bonales-Alatorre E, Shabala S, Chen ZH, Pottosin I (2013) Reduced tonoplast FV and SV channels activity is essential for conferring salinity tolerance in a facultative halophyte, Chenopodium quinoa. Plant Physiol 162: 940-952 [IF = 6.53]
- Bose J, Xie YJ, Shen WB, Shabala S (2013) Haem oxygenase modifies salinity tolerance in Arabidopsis by controlling K+ retention via regulation of the plasma membrane H+ ATPase and by altering SOS1 transcript levels in roots. J Exp Bot 64: 471-481[IF = 5.48]
- Rodrigo-Moreno A, Andrés-Colás N, Poschenrieder C, Gunsé B, Peñarrubia L, Shabala S (2013) Calcium- and potassium-permeable plasma membrane transporters are activated by copper in Arabidopsis root tips: linking copper transport with cytosolic hydroxyl radical production. Plant Cell Environ 36: 844-855 [IF = 5.21]
- Jayakannan M, Bose J, Babourina O, Rengel Z, Shabala S (2013) Salicylic acid improves salinity tolerance in Arabidopsis by restoring membrane potential and

preventing salt-induced K+ loss via a GORK channel. J Exp Bot 64: 2255-2268 [IF = 5.48]

- Adolf VI, Jacobsen S-E, Shabala S (2013) Salt tolerance mechanisms in quinoa (Chenopodium quinoa willd.). Env Exp Bot 92: 43-54 [IF = 2.98]
- Teakle NL, Bazihizina N, Shabala S, Colmer TD, Barrett-Lennard EG, Rodrigo-Moreno A, Läuchli AE. (2013) Differential tolerance to combined salinity and O2 deficiency in the halophytic grasses Puccinellia ciliata and Thinopyrum ponticum: The importance of K+ retention in roots. Env Exp Bot 87: 69-78 [IF = 2.98]
- Bose J, Babourina O, Shabala S, Rengel Z (2013) Low-pH and aluminum resistance in Arabidopsis correlates with high cytosolic magnesium content and increased magnesium uptake by plant roots. Plant Cell Physiol 54: 1093-1104 [IF = 4.7].

Тарасюк Александр Николаевич (род. 1960 г.) – известный белорусский учёный и педагог в области экологической генетики, биотестирования, генетики дрозофилы, цитологии, цитогенетики животных и растений, цитологии и генетики мейоза (рис. 8).

Обучался в аспирантуре Института Экологической генетики с 1985 по 1988 годы в лаборатории индуцированного рекомбиногенеза под руководством академика А.А. Жученко. Затем работал старшим специалистом в этой же лаборатории до 1991 года.

Рис. 8. А.Н. Тарасюк

В 1991 г. в Совете по защите диссертаций при Институте генетики и цитологии НАН Беларуси защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.15 «Генетика» на тему «Влияние температуры на мейоз у кукурузы». В 2004 г. А.Н. Тарасюку присвоено ученое звание «доцент» по специальности «Биология».

С 1991 года живёт в Республике Беларусь. Работает в Брестском государственном университете имени А.С. Пушкина, в котором занимает должности ассистента, старшего преподавателя и доцента кафедры зоологии. В

1997–2005 годах – декан биологического факультета Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина. В 2006–2015 гг. и 2018–2023 гг. – заведующий кафедрой зоологии и генетики. С 01.09.2023 г – доцент кафедры зоологии, генетики и химии. С 02.09.2024 г. – доцент кафедры биологических и химических технологий. Преподаваемые дисциплины: генетика, цитология, молекулярная биология, генетика человека, молекулярная генетика, популяционная генетика, цитогенетика, структурно-функциональная организация геномов.

Автор более 100 научных и учебно-методических публикаций. Имеет почётные грамоты и благодарности ректора университета за качественное выполнение должностных обязанностей и успехи в учебно-методической и научной работе.

Основные труды:

- Тарасюк, А.Н. Исследование генетической активности солей тяжёлых металлов (ртути, свинца). I. Изменение частоты кроссинговера у дрозофилы / А.Н. Тарасюк // Вучоныя запіскі БрГУ імя А.С. Пушкіна. – 2005. – Т.1. – Ч.1. – С. 143–149.
- Тарасюк, А.Н. Исследование генетической активности солей тяжёлых металлов (ртути, свинца). II. Квазисцепление генов у дрозофилы / А.Н. Тарасюк // Вучоныя запіскі БрГУ імя А.С. Пушкіна. – 2006. – Т.2. – Ч.2. – С. 99–107.
- Тарасюк, А.Н. Температурная индукция рекомбинации и генетическая адаптация высших организмов / А.Н. Тарасюк // Вучоныя запіскі БрГУ імя А.С. Пушкіна. – 2013. – Вып.9 – Ч.2. – С. 107–122.
- Биологическая активность брассиностероидов и стероидных гликозидов (монография) / А.Н. Тарасюк [и др.] ; под общ. ред. С.Э. Карозы ; Брест, Брест. гос. ун-т им А.С. Пушкина. – Брест: БрГУ, 2019. – 263 с.
- Тарасюк, А.Н. Протекторные свойства эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами по отношению к токсическому действию ионов свинца и кадмия на клетки корневой меристемы сельскохозяйственных культур / А.Н. Тарасюк // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5: Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2023. – № 1. – С. 60–69.

Ущаповский Игорь Валентинович (род. 1962 г.) – известный российский учёный-селекционер и педагог в области генетики и селекции технических культур, соавтор 4 сортов масличного и прядильного льна. Сфера научных интересов: генетика и теоретические основы селекции культивируемых растений, применение методов маркер-ассоциированной селекции для создания новых сортов лубяных культур, технологии производства и переработки льна-долгунца и технической конопли (рис. 9).

В Институте экологической генетики работал с 1985 по 1991 год, одновременно обучаясь в аспирантуре Академии наук Молдавской ССР. В 1990 году в Совете по защите диссертаций при Институте генетики и цитологии НАН Беларуси защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.15 «Генетика» на тему «Связь между показателями кроссинговера и приспособленности у гибридов F1». В

2005 году ему присвоено ученое звание «доцент» по специальности «Биохимия».

С 1991 года живёт в Российской Федерации и работает во ВНИИ льна. В настоящее время продолжает трудовую деятельность в Федеральном научном центре лубяных культур (преемник ВНИИ льна, г. Тверь). С 2018 года является заместителем директора ФГБНУ ФНЦ лубяных культур по научной работе. Преподавательскую работу ведет с 2001 года на кафедре биотехнологии в Тверском государственном техническом университете. Преподаваемые дисциплины: Биотехнология с основами генетики; Биохимия; Технология производства и переработки технических культур.

Участник образовательных программ по повышению квалификации и проектов по освоению научных разработок в производстве в Российской Федерации, Нидерландах, США, КНР.

Рис. 9. И.В. Ущаповский; научный аналитический обзор «Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства технических культур», где И.В. Ущаповский является первым автором

Автор и соавтор более 200 научных и учебно-методических публикаций, 9 патентов на изобретения и 4 авторских свидетельства на сорта. С 2020 года заместитель главного редактора научного журнала «Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал». В 2008-2023 гг. состоял в редколлегии международного журнала "Journal of Natural Fibers" (Taylor & Francis).

Имеет следующие награды: Почётная грамота Президиума РАСХН – за многолетний добросовестный труд и выдающиеся успехи в научно-исследовательской деятельности (2013 год). Благодарность Губернатора Тверской области - за высокие достижения в научной работе и плодотворный труд на благо Тверской области (2017 год).

Основные труды:

- Взаимосвязь гетерозиса и частоты кроссинговера у томата. Жученко А.А., Ущаповский И.В. // Известия Академии наук Молдавской ССР. Серия биологических и химических наук. 1989. № 1. С. 39-42.;
- The Russian flax sector: bottlenecks and solutions. Uschapovsky I. // Journal of Natural Fibers. 2009. Т. 6. № 1. С. 108-113.;
- Особенности селекции и перспективы применения молекулярно-генетических методов в генетико- селекционных исследованиях льна (Linum usitatissimum L.). Ущаповский И.В., Лемеш В.А., Богданова М.В., Гузенко Е.В. // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 602-616.;
- Composition of the Alfalfa pathobiome in commercial fields. Nemchinov L.G., Irish B.M., Uschapovsky I.V., Grinstead S., Shao J., Postnikova O.A. // Frontiers in Microbiology. 2023. Т. 14. С. 1225781;
- Молекулярно-генетическое разнообразие сортов льна (Linum usitatissimum L.), представленных в Госреестре селекционных достижений Российской Федерации. Базанов Т.А., Ущаповский И.В., Логинова Н.Н., Смирнова Е.В., Михайлова П.Д. // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2023. Т. 184. № 1. С. 163-176.

Академик Александр Александрович Жученко оставил Республике Молдова большую научную школу: директор Института генетики, физиологии и защиты растений (преемник Института Экологической генетики), доктор биологических наук Лариса Андроник, а также сотрудники данного учреждения, доктора биологических наук Галина Лупашку, Надежда Михня, Любовь Корецкая, Михаил Михайлов, Милания Маковей. По итогам работы Межгосударственной программы стран СНГ защитили докторские диссертации учёные, которые работают сейчас на Украине: Самовол А.П., Лях В.А., Шерепитько В.В.

О международном значении Института Экологической генетики академика А.А. Жученко и созданной им научной школы лучше всего написал известный австралийский учёный с мировым именем, профессор С.Н. Шабала. Приведём выдержки из его письма:

«Я проработал в Институте Экологической Генетики с 1984 по 1992, сначала в качестве инженера, а потом в должности научного сотрудника. Вспоминая то время сейчас, 40 лет спустя, и с учетом жизненного багажа на западе, я могу с уверенностью сказать, что это было время расцвета советской науки, и созданный Александром Александровичем институт был без преувеличения флагманом не только советской, но и мировой науки. Как по своему техническому оснащению, так и по уровню и актуальности тем мы были на переднем крае, благодаря стратегическому видению академика А.А. Жученко. По долгу сегодняшней службы я рецензирую исследовательские проекты для различных финансирующих органов в 26 странах мира. Многие из них предлагают сделать то, о чем А.А. Жученко говорил 40 лет назад. Выражаясь высокопарным языком, он был миссионером, намного опередившем

свое время. И хотя мне не пришлось непосредственно работать под его прямым руководством, я считал и продолжаю считать, что он дал мне путевку в науку.

С 1995 я живу и работаю в Австралии. Моя карьера началась с пост-дока в Тасманийском университете, где я дорос до полного профессора в 2011 и создал лабораторию Физиологии Стресса, где под моим началом работало 20-25 человек. В 2023 меня переманили в университет Западной Австралии, перевезя всех моих сотрудников и все оборудование. Я занимаюсь мембранным транспортом в растениях в контексте их адаптации к неблагоприятным условиям среды (засуха, засоление, кислые почвы). На сегодняшний день у меня 58 защищенных аспирантов и более 500 опубликованных статей. Мой индекс Хирша = 116, и с 2016 я числюсь в “клубе высокоцитируемых” (Clarivate Highly Cited) который включает примерно 6000 человек по всем отраслям знаний. Спасибо научной школе Жученко и тому старту, который она мне дала!»

УДК 632.938.1:633.52

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ КОЛЛЕКЦИЯ ЛЬНА ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ФУЗАРИОЗНОМУ УВЯДАНИЮ

Татьяна Александровна Рожмина, Александр Александрович Жученко мл., Анастасия Владимировна Мясникова
Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь

Аннотация. В статье представлены результаты создания генетической коллекции льна по устойчивости к фузариозному увяданию, которая включает 30 линий, выделенных из ландрасов, селекционных номеров и сортов, имеющих различное эколого-географическое происхождение. Идентифицировано 10 высокоэффективных в условиях России R-генов, в том числе у образцов льна-долгунца Fu 2, Fu 4, Fu 5, Fu 6, Fu 8, Fu 9, Fu 10 и Fu 11, льна масличного – Fu 2, Fu 4, Fu 7, Fu 10, Fu 11 и Fu 12. С использованием селекционно-генетической технологии созданы сорта льна-долгунца Цезарь, Девиз, Сурский с генами Fu 5, Fu 6 и Fu 8 соответственно, которые отсутствуют у современных сортов льна-долгунца и не идентифицированы у образцов масличного льна.

Ключевые слова: Linum usitatissimum L., вертикальная устойчивость, фузариозное увядание, ген, возбудитель, инфекционный фон, коллекция.

GENETIC COLLECTION OF FLAX FOR RESISTANCE TO FUSARIUM WILT

Tatiana Aleksandrovna Rozhmina, Aleksandr Aleksandrovich Zhuchenko, Jr., Anastasia Vladimirovna Myasnikova
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver

Abstract. The article presents the results of creating a genetic collection of flax for resistance to fusarium wilt, which includes 30 lines isolated from landraces, selection numbers and varieties with different ecological and geographical origins. 10 R-genes highly effective in Russian conditions have been identified, including those in fiber flax samples Fu 2, Fu 4, Fu 5, Fu 6, Fu 8, Fu 9, Fu 10 and Fu 11, flaxseed – Fu 2, Fu 4, Fu 7, Fu 10, Fu 11 and Fu 12. Using selection and genetic technology, fiber flax varieties Cesar, Deviz, Surskiy with the genes Fu 5, Fu 6 and Fu 8, respectively, which are absent in modern fiber flax varieties and have not been identified in flaxseed samples, have been created.

Key words: Linum usitatissimum L., vertical resistance, fusarium wilt, gene, pathogen, infectious background, collection.

Введение. Решение проблемы устойчивости сельскохозяйственных культур к болезням в современных условиях является одной из приоритетных

задач, стоящих перед селекционерами. Наиболее вредоносным заболеванием льна во всем мире является фузариозное увядание, основным возбудителем которого является узкоспециализированный гриб *Fusarium oxysporum f. lini*. В настоящее время созданы сорта льна, обладающие высоким уровнем устойчивости к данной болезни [2, 4]. Вместе с тем, изменение климатических условий, не соблюдение севооборотов и другие факторы вызывают опасность накопления инфекции в почве, появления новых более вирулентных рас, в результате чего заболевание может принять эпифитотийный характер [1]. Учитывая биологические особенности культуры и возбудителя, наиболее радикальным способом борьбы с данным заболеванием является создание сортов льна с различными высокоэффективными генами устойчивости [4].

Цель исследований заключалась в создание генетической коллекции по устойчивости льна к фузариозному увяданию.

Материалы и методы. В качестве исходного материала использовалась образцы из Коллекции льна ФГБНУ ФНЦ ЛК. Инфекционный фон создавался путем внесения чистой культуры возбудителя в почву. Для идентификации генов устойчивости к патогену использовались методы – фитопатологического тестирования и гибридологического анализа. Закладка инфекционных питомников и оценка гибридных популяций F_2 осуществлялись в соответствии с методическими указаниями по селекции льна-долгунца (2014).

Результаты исследований. На сегодняшний день в мире у льна идентифицировано 12 R-генов устойчивости к фузариозному увяданию, из которых 10 выявлены с нашим участием. Ген устойчивости Fu 3, идентифицированной в условиях Индии, в условиях России селекционной ценности не представляет. У сорта Dakota нами выявлен один эффективный ген, в то время как по данным индийских ученых сорт обладает двумя генами [3, 5].

В результате скрининга мирового генофонда льна, начиная с 1989 по 2024 гг., нами сформирована генетическая коллекция по устойчивости к фузариозному увяданию, включающая 30 генотипов. В состав коллекции входят линии, выделенные из ландрасов, селекционных номеров, сортов отечественной и зарубежной селекции прядильного и масличного льна (таблица 1).

Таблица 1 – Гены вертикальной устойчивости к фузариозному увяданию, идентифицированные у льна (НИИ льна, Тверская область, 1994-2024 гг.)

Ген	Линии льна-долгунца	Линии льна масличного
Fu 2	Зарянка (Россия)	Clark, л. 3 (Нидерланды); Dakota, л. 8 (США)
Fu 4	Г-4729, л. 3, Росинка (Россия)	№ 3896 (Россия); Areco, л. 4, Atalante, л. 2 (Нидерланды); Altess, л. 2 (Франция); № 340, л. 7 (Аргентина)
Fu 5	Цезарь (Россия), К-65, л.1; (Р. Беларусь), Querandi, л. 1 (Аргентина)	-

Продолжение таблицы 1

Fu 6	Currong, л. 3 (Австралия), Девиз (Россия)	-
Fu 7	-	Siciliana 285, л. 3 (Италия); Roja, л. 8 (Канада)
Fu 8	г-2101-4-7, Сурский (Россия); Родник, л. 8 (Р. Беларусь); Z 95199 (Румыния); Honkei 21 (Китай)	-
Fu 9	Русич, Смолич (Россия); Родник, л.8 (Р. Беларусь)	Raciol (Чехия)
Fu 10	Дипломат (Россия)	Linota, л.12 (Аргентина)
Fu 11	Ленок (Россия)	AGT 987, л.12 (Чехия)
Fu 12	-	AGT 1538, л.6 (Чехия)

На основе фитопатологического тестирования и гибридологического анализа на фонах с искусственной популяцией и высоковирулентными изолятами гриба *F. oxysporum f. lini* установлено, что устойчивость к фузариозному увяданию у данных линий детерминируется одним высокоэффективным R-геном. Исключение составили линии Родник, л.8 (Р. Беларусь), Raciol (Чехия) и Z 95199 (Румыния), у которых устойчивость определяется двумя эффективными доминантными генами. Так, у сорта Родник устойчивость контролируется генами Fu 8 и Fu 9, а у линий Z 95199 и Raciol - Fu 8 и Fu 9 соответственно, при этом второй ген устойчивости этих линий не идентичен ни одному из известных генов.

Несмотря на то, что генофонд масличного льна характеризуются большим генетическим разнообразием, пока не удалось идентифицировать среди них гены Fu 5, Fu 6 и Fu 8. Среди образцов льна-долгунца также не выявлены такие гены, как Fu 7 и Fu 12. На основе проведенных исследований современных отечественных сортов льна-долгунца нами выявлены различные эффективные R-гены у таких сортов, как Зарянка – ген Fu 2, Русич, Смолич - Fu 9, Дипломат - Fu 9 и Ленок Fu 11. С использованием разработанной нами селекционно-генетической технологии были созданы и включены в Государственный реестр РФ сорта Цезарь (патент 9350 от 22.11.2017), Девиз и Сурский (патент 8658 от 01.11.2016), обладающие R-генами - Fu 5, Fu 6 и Fu 8, которые отсутствуют у современных сортов льна-долгунца и не идентифицированы у образцов масличного льна.

Выводы. В результате исследований идентифицировано у льна 10 эффективных генов вертикальной устойчивости к фузариозному увяданию. Сформирована генетическая коллекции льна по данному признаку, включающая 30 генотипов, в их числе 8 современных сортов льна-долгунца. Это позволяет обеспечить генетическую защиту от патогена за счет создания «мозаики» сортов льна-долгунца, обладающих различными R-генами.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2024-0005).

Библиографический список

1. Жученко А. А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии (эколого-генетические основы). Теория и практика. М.: Агрорус, 2010. 1053 с.

2. Зеленцов В. С., Рябенко Л. Г., Зеленцов С. В., Мошненко Е. В., Овчарова Л. Р., Сляров С. В. Сорт масличного льна Ы 117. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2018;(4):181-184. https://doi.org/10.25230/2412-608X-2018-4-176-181-184

3. Идентифицированный генофонд растений и селекция /под ред. Б. В. Ригина, Е. И. Гаевской. 2005. Санкт-Петербург. 895 с.

4. Рожмина Т.А. Селекционно-ценные гены устойчивости к фузариозному увяданию у льна. Достижения науки и техники АПК. 2015. 29(12):47-49.

5. Рожмина Т. А., Жученко А.А. мл., Мясникова А.В. Новые гены устойчивости к фузариозному увяданию у льна масличного. Кормопроизводство. 2024; 9:19-22. DOI: 10.30906/1562-0417-2024-9-19-22

УДК 575.1:631.523

РОЛЬ ГЕНЕТИКИ В УЛУЧШЕНИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Гюнель Мубаризкызы Джафарова
НИИ Защиты растений и технических культур, г. Гянджа, Азербайджан

Аннотация. В статье рассмотрена роль генетики в современном улучшении культурных растений. Проанализированы основные методы селекции, включая традиционные и современные молекулярные технологии: маркерный отбор, геномное секвенирование, генная инженерия и редактирование генома с помощью CRISPR/Cas. Показано, как данные подходы позволяют повысить точность и скорость выведения новых сортов с улучшенными агрономическими признаками, такими как устойчивость к болезням, засухе и вредителям, а также повышенная урожайность и качество продукции. Обсуждается значимость интеграции генетических методов с агротехническими инновациями для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития сельского хозяйства. Представлены результаты сравнительного анализа эффективности различных методов улучшения культурных растений.

Ключевые слова: генетика культурных растений, селекция, молекулярные маркеры, генная инженерия, редактирование генома.

ROLE OF GENETICS IN THE IMPROVEMENT OF CULTIVATED PLANTS

Gyunel Mubarizkyzy Jafarova
Scientific Research Institute of Plant Protection and Technical Plants, Ganja, Azerbaijan

Abstract. The article examines the role of genetics in the modern improvement of cultivated plants. The main breeding methods are analyzed, including traditional and modern molecular technologies such as marker-assisted selection, genome sequencing, genetic engineering, and genome editing using CRISPR/Cas. It is demonstrated how these approaches increase the accuracy and speed of developing new varieties with improved agronomic traits, such as resistance to diseases, drought, and pests, as well as enhanced yield and product quality. The importance of integrating genetic methods with agronomic innovations to ensure food security and sustainable agricultural development is discussed. Results of a comparative analysis of the effectiveness of various methods for improving cultivated plants are presented.

Key words: genetics of cultivated plants, breeding (or plant breeding), molecular markers, genetic engineering, genome editing.

Введение. Культурные растения — основа продовольственной безопасности человечества. Современное сельское хозяйство сталкивается с многочисленными вызовами, включая изменение климата, рост численности населения и ограниченность природных ресурсов. Эти факторы требуют повышения продуктивности, устойчивости к стрессам и улучшения качества сельскохозяйственной продукции. Генетика культурных растений является краеугольным камнем процессов селекции и биотехнологического совершенствования, способствующих решению указанных задач.

В XX веке классическая селекция базировалась главным образом на фенотипическом отборе, который был трудоемким и длительным процессом. Однако с развитием молекулярной биологии и генной инженерии методы улучшения культурных растений претерпели значительные изменения. Современные генетические технологии, такие как молекулярные маркеры, геномное секвенирование и редактирование генома с помощью CRISPR/Cas, открыли новые горизонты в селекции, позволив создавать высокопродуктивные, устойчивые и экологически безопасные сорта за существенно сокращённые сроки [1].

Эта статья посвящена роли генетики и современных молекулярных методов в улучшении культурных растений, анализу их эффективности и значимости для современного аграрного производства.

Цель работы. Основной целью исследования является систематизация знаний о роли генетики в улучшении культурных растений, а также анализ современных методов молекулярной селекции и генной инженерии с оценкой их практической значимости в селекционных программах.

Материалы и методы. Исследование базируется на анализе обширного массива отечественной и зарубежной научной литературы, посвящённой молекулярной генетике, биотехнологии и селекции культурных растений. Основное внимание уделялось таким культурам, как пшеница (*Triticum aestivum*), кукуруза (*Zea mays*), рис (*Oryza sativa*), а также соя (*Glycine max*) и картофель (*Solanum tuberosum*).

Для оценки методов улучшения использовались данные, полученные с помощью следующих подходов:

- **Маркерный отбор (MAS)** — использование молекулярных маркеров (SSR, SNP) для точечного выявления генов, ответственных за важные признаки, например, устойчивость к болезням или засухе. Этот метод позволяет ускорить селекционный процесс и повысить его точность.
- **Геномное секвенирование** — анализ полного генетического материала растений для выявления генов и регуляторных элементов, влияющих на агрономические характеристики.
- **Генная инженерия** — целенаправленное введение или модификация генов с использованием трансгенных технологий.
- **Редактирование генома (CRISPR/Cas)** — технология точечного изменения ДНК без введения чужеродных последовательностей, что повышает эффективность и этическую приемлемость биоинженерных методов.

Результаты. Молекулярный маркерный отбор за последние десятилетия стал одним из самых востребованных методов в селекции. Он позволяет быстро идентифицировать генотипы с нужными аллелями без необходимости выращивания всего растения и оценки фенотипа. Например, с помощью маркерного отбора созданы сорта пшеницы с устойчивостью к грибковым заболеваниям, таким как мучнистая роса и ржавчина, а также сорта кукурузы с высокой засухоустойчивостью [2].

Геномное секвенирование дало возможность детально изучить генетический материал культурных растений, выявить новые гены и регуляторные элементы, отвечающие за адаптацию к абиотическим стрессам. Анализ вариаций в геномах разных сортов риса позволил создать линии, устойчивые к засухе и наводнениям — критическим проблемам в условиях изменения климата [3].

Генная инженерия и технологии трансгенеза позволили вывести сорта, устойчивые к вредителям и болезням, что снизило зависимость от химических средств защиты растений. Известным примером является Bt-кукуруза, содержащая ген токсина Bacillusthuringiensis, эффективного против кукурузных вредителей [4].

Технологии редактирования генома на базе CRISPR/Cas получили широкое распространение благодаря своей точности и скорости. Они позволяют изменять отдельные гены, улучшая устойчивость к стрессам, качество семян и питательную ценность продукции. Например, с их помощью были созданы сорта риса с повышенным содержанием витаминов и повышенной устойчивостью к засухе.

Выводы. Генетика является ключевой дисциплиной для современного улучшения культурных растений. Внедрение молекулярных и биотехнологических методов существенно повысило эффективность селекционных программ, позволяя создавать сорта с комплексом полезных признаков: высокой продуктивностью, устойчивостью к стрессам и улучшенным качеством продукции. Современные технологии, такие как маркерный отбор, геномное секвенирование, генная инженерия и редактирование генома, сократили сроки селекции и расширили возможности для адаптации растений к изменяющимся условиям окружающей среды.

Для дальнейшего развития необходимо активное взаимодействие генетики с агротехническими инновациями, а также развитие этических и регуляторных норм применения генно-инженерных методов. Эти направления обеспечат устойчивость агропроизводства и продовольственную безопасность в условиях глобальных вызовов.

Библиографический список

6. Ахметов А.Б. Генетика и селекция сельскохозяйственных культур. — М.: Колос, 2018. — 320 с.

7. Иванов П.С., Смирнова Е.В. Молекулярные методы в селекции растений // Журнал биотехнологии. — 2020. — Т. 15, № 3. — С. 45–53.

8. Смирнов В.И., Кузнецова Л.Н. Влияние генных технологий на продуктивность культурных растений // Сельскохозяйственная биология. — 2023. — Т. 29, № 1. — С. 34–42.

9. Kumar S., Singh R. Marker-assisted selection in crop improvement: current status and future prospects // Agricultural Research. — 2021. — Vol. 10, Issue 2. — P. 78–90.

УДК 631.527

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К УСКОРЕНИЮ СЕЛЕКЦИИ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Людмила Анатольевна Бердникова
Научный руководитель – Анастасия Сергеевна Симагина
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва

Аннотация. В данной статье обозреваются современные методы, используемые для ускорения селекции растений и облегчающие процесс создания новых сортов. Рассматриваются технологии спидбридинга, фитотронно-тепличных комплексов, фенотипирование, молекулярно-маркерная селекция, геномное редактирование CRISPR/Cas, биотехнологии. Проведен анализ преимуществ и перспектив внедрения новых подходов в практическую селекционную деятельность.

Ключевые слова: ускоренная селекция, спидбридинг, молекулярно-маркерная селекция, геномное редактирование, клеточные технологии, фенотипирование.

MODERN APPROACHES TO ACCELERATING PLANT BREEDING

Lydmila Anatolevna Berdnikova
Scientific adviser – Anastasia Sergeevna Simagina
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. This article reviews modern methods used to accelerate plant breeding, facilitating the process of developing new varieties. Technologies such as speed breeding, phytotron-greenhouse complexes, phenotyping, molecular marker-assisted selection, CRISPR/Cas genome editing, biotechnologies, and mutagenesis are discussed. An analysis of the advantages and prospects of implementing these new approaches in practical breeding activities is provided.

Keywords: accelerated breeding, speed breeding, molecular marker-assisted selection, genome editing, cell culture technologies, phenotyping.

Селекция – самостоятельная научная дисциплина, изучающая методы создания, выведения и улучшения сортов культивируемых растений с нужными человеку особенностями и свойствами; одновременно это и технология, позволяющая посредством целого ряда способов, прописей и приемов производить определенную продукцию в виде новых сортов [2].

Целью данного обзора является исследование современных подходов к ускорению селекции растений, которые помогают ускорить сроки выведения новых сортов, повысить точность отбора.

В ходе селекции на ранних этапах размножения значительное количество времени и ресурсов инвестируются в стадии отбора и генетического продвижения после первых скрещиваний с генотипами родителей. Спидбридинг помогает существенно ускорить селекционный процесс, уменьшая время вегетации растений. Например, ученые во ВНИИСБ установили, что при спидбридинге полная вегетация озимой твердой пшеницы от посева до уборки на одно поколение составляет от 91 до 121 дня в зависимости от генотипа. Это позволяет получать в год от 3 до 4 поколений культуры. Для достижения генетической однородности проводится шесть последовательных посевов с использованием односемянного метода отбора. Таким образом, за 2 года с применением описываемого метода возможно создавать спектр чистых линий озимой твердой пшеницы. Дополнительно ускоренная яровизация стимулирует рост и убыстряет развитие растений, что вместе со спидбридингом значительно сокращает сроки селекционного цикла и повышает его эффективность [1].

Климатические камеры представляют собой специализированные установки, обеспечивающие строгое регулирование таких параметров, как температура, влажность, состав воздуха и освещение, что создает оптимальные условия для роста и развития растений. Многие исследователи подчеркивают острую необходимость более широкого применения фитотронов в целях моделирования природных условий, с повышенной точностью и эффективностью исследований.

Метод фенотипирования играет важную роль в генетической и селекционной работе, позволяя проводить масштабные исследования с существенной экономией ресурсов. Одним из примеров разработок в данной сфере служит протокол анализа количественных характеристик опушения листьев картофеля (один из важных признаков, отвечающих за формирование микроклимата у поверхности листа). Учеными из института цитологии и генетики СО РАН описана технология приготовления препаратов и получения цифровых изображений сгибов листа с помощью оптического микроскопа в проходящем свете и последующей автоматической обработке этих изображений на компьютере с помощью программы LHDetect2.Такой подход обеспечивает точное и быстрое измерение числа и средней длины трихом, что существенно облегчает массовый анализ морфологических признаков. Стоит отметить, что у феномики растений существуют большие перспективы развития, связанные с дальнейшим развитием автоматизации и интеграции цифровых технологий [3].

Внедрение технологий маркер-вспомогательной селекции (MAS), значительно повысило эффективность отбора устойчивости к стрессам и болезням, хотя применение для полигенных количественных признаков ещё нуждается в исследовании. Наиболее успешными способами применения новых

технологий являются интрогрессия и пирамидирование главных генов/QTLs, контролирующих устойчивость к различным видам стрессов. Несмотря на существующие ограничения, ожидается, что в ближайшие годы данные методы станут более доступными и масштабируемыми, что позволит быстрее применять результаты геномных исследований в практической селекции [4].

Геномное редактирование с использованием системы CRISPR/Cas9 представляет собой точный и эффективный метод внесения изменений в ДНК растений, не использующий трансгенные модификации. Это осуществляется за счет использования программируемых нуклеаз или путем встраивания трансгенов gRNA и белка Cas9 в хромосому. С развитием данного метода перед учеными открываются широкие перспективы для разработки сортов с целенаправленно заданными моногенными и олигогенными признаками [6].

Биотехнология в селекции активно развивается на основе культуры клеток и тканей, протопластов, культивируемых *in vitro.* Например, популярны методы соматической гибридизации, позволяющие создавать гибридные формы с улучшенными характеристиками, адаптивностью. Несмотря на преимущества, такие как возможность получения генетически однородного материала и ускорение селекционного процесса, методы клеточной биотехнологии обладают рядом ограничений: медленный рост культивируемых тканей, высокие требования к стерильности и квалификации персонала [5].

Современные методы для ускорения селекции культурных растений представляют собой сложный комплекс технологических и биотехнологических подходов, которые существенно сокращают время и повышают эффективность выведения новых сортов. Использование спидбридинга и фитотронно-тепличных комплексов обеспечивает возможность получения нескольких поколений растений в год при стабильном контроле микроклимата, что значительно ускоряет селекционный цикл. Высокопроизводительное фенотипирование вместе с молекулярно-маркерными методами и инструментами геномного редактирования CRISPR/Cas повышают точность отбора, позволяя выделять растения с наилучшими признаками. При этом классическая селекция остаётся фундаментом процесса, создавая основу для внедрения инновационных технологий. Современные методы лишь дополняют и усиливают её, делая работу ученого-селекционера более целенаправленной и продуктивной.

Библиографический список

1.Бизякина, Д. О., Рубец, В. С., Радзениеце, С. [и др.]. Чистые линии озимой твердой пшеницы: спидбридинг или удвоенные гаплоиды? // Генетика, геномика, биоинформатика и биотехнология растений (PlantGen2025): Тезисы докладов 8-ой Международной научной конференции, Новосибирск, 02–05 июля 2025 года. – Новосибирск: ФИЦ ИЦиГ СО РАН, 2025. – С. 56. – DOI 10.18699/PlantGen-2025-56.

2.Гончаров, Н. П. Методические основы селекции растений / Н. П. Гончаров, П. Л. Гончаров ; Российская академия наук, Сибирское отделение, Институт цитологии и генетики. – 3-е издание, исправленное и дополненное. –

Новосибирск : Академическое издательство "Гео", 2018. – 439 с. – ISBN 978-5-6041445-4-1.

3. Дорошков, А. В. Протокол анализа количественных характеристик опушения листа картофеля / А. В. Дорошков, М. А. Генаев, Д. А. Афонников // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2016. – Т. 20, № 6. – С. 863-868. – DOI 10.18699/VJ16.218.

4. Леонова, И. Н. Молекулярные маркеры: Использование в селекции зерновых культур для идентификации, интрогрессии и пирамидирования генов / И. Н. Леонова // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 314-325.

5.Самко, О. В. Использование технологии соматической гибридизации в селекции растений / О. В. Самко, А. В. Снигирева // Амурский научный вестник. – 2009. – № 1. – С. 233-239.

6.Хлесткина, Е. К. Перспективы использования прорывных технологий в селекции: система CRISPR/Cas9 для редактирования генома растений / Е. К. Хлесткина, В. К. Шумный // Генетика. – 2016. – Т. 52, № 7. – С. 774-787. – DOI 10.7868/S0016675816070055.

7. Методические рекомендации по определению сортовых качеств семян в полевых условиях / А. М. Малько, М. А. Козлова, Ф. А. Верхотурцев [и др.] ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2006. – 224 с.

8. Повышение урожайности и качества продукции льноводства при внесении в почву активированного угля, импрегнированного серебром / Е. К. Барнашова, Е. А. Вертикова, К. А. Тараскин [и др.] // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. – 2025. – Т. 5, № 2(16). – С. 12-18. – DOI 10.54016/SVITOK.2025.21.75.002.

9. Симагин, А. Д. Масличный лен селекции ВНИИМК как исходный материал в Центральном районе Нечерноземной зоны / А. Д. Симагин // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур : Сборник материалов 13-й Международной конференции молодых учёных и специалистов, Краснодар, 04–06 марта 2025 года. – Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур им. В.С. Пустовойта, 2025. – С. 253-256. – DOI 10.25230/conf13-2025-03-253.

УДК633.11 :631.84

КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТВЕРДОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТОВ РАЗЛИЧНОЙ РАЙОНИРОВАННОСТИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В СРЕДНЕМ ПОВОЛЖЬЕ

Наталья Павловна Бакаева, д.б.н., профессор
Самарский государственный аграрный университет, г. Самара

Аннотация. Изучались сорта яровой твердой пшеницы Безенчукская 210 и Триада. Сорт Безенчукская 210 районирован в 7 регионе, куда входит Среднее Поволжье, и сорт Триада, рекомендованный для возделывания в 5 – Центрально-Черноземном регионе России. Сравнивались следующие показатели: урожайность, масса 1000 зерен, стекловидность, белок, натурная масса зерна. Изменения качественных показателей определяли в зависимости от способов обработки почвы и применения карбамида. По значениям ряда показателей сорт Триада превзошел сорт Безенчукскую 210, поэтому рекомендован к возделыванию в Средневолжском регионе.

Ключевые слова: сорт Безенчукская 210, сорт Триада, урожайность зерна, масса 1000 зерен и натуры, стекловидность, белок, уровень рентабельности.

QUALITY INDICATORS OF SPRING DURUM WHEAT GRAIN OF DIFFERENT VARIETIES GROWN IN THE MIDDLE VOLGA REGION

Natalia Pavlovna Bakaeva, Doctor of Biological Sciences, Professor
Samara State Agrarian University, Samara, Russia

Abstract. The varieties of spring durum wheat Bezenchukskaya 210 and Triada were studied. The Bezenchukskaya 210 variety is adapted to the 7th region, which includes the Middle Volga region, and the Triada variety is recommended for cultivation in the 5th region, the Central Black Earth region of Russia. The following indicators were compared: yield, weight of 1,000 grains, glassiness, protein content, and grain weight. The changes in quality indicators were determined based on the methods of soil cultivation and the use of urea. According to a number of indicators, the Triada variety surpassed the Bezenchukskaya 210 variety, and therefore it is recommended for cultivation in the Middle Volga region.

***Keywords*:** Bezenchukskaya 210 variety, Triada variety, grain yield, weight of 1,000 grains and натуры, glassiness, protein, and profitability level.

Введение. Ценность твердой яровой пшеницы состоит в том, что ее зерно отличается повышенным содержанием белка до 15-18%. Из муки твёрдой пшеницы производят манную крупу и макаронные изделия. Устойчива к

различным болезням и условиям. Требовательна к плодородию почвы и чистоте полей от сорняков. Плодородные почвы, обилие тепла и солнечной радиации при рациональном использовании ограниченного количества выпадающих осадков являются благоприятными условиями в Среднем Поволжье для выращивания высокоценных по содержанию протеина и клейковины сортов яровой твердой пшеницы [1].

Для решения задач повышения урожайности необходима работа по оптимизации приемов и технологии возделывания культуры, основанная на правильном размещении в севообороте, системе обработки почвы, подборе сортов, системе удобрений, защиты растений и др. В данной работе подбирались сорта, рекомендованные к использованию в различных регионах. Сорт Безенчукская 210 рекомендован к возделыванию в 7 регионе, куда относится Самарская область. Сорт Триада включён в Госреестр по Центрально-Черноземному (5) региону, т.е.рекомендован для возделывания в более южных областях РФ.

Выбор сорта основан на происходящих изменениях климата, истощении почв и возрастающих требованиях к урожайности и др. Повышение качества и урожайности пшеницы является важной народно-хозяйственной задачей агропромышленного комплекса нашей страны. Улучшение качества зерна пшеницы – актуальная проблема во всем мире.

Отсюда, актуальность возделывания твердых сортов яровой пшеницы на неорошаемых почвах Среднего Поволжья, а также сортов, рекомендованных для возделывания в более южных регионах, для получения высоких величин урожайности и показателей качества зерна.

Цель работы – изучение и сравнительная оценка сортовых особенностей сортов яровой твердой пшеницы Безенчукская 210 и Триада для выявления элементов технологии, влияющих на получение высокой урожайности без потери качественных характеристик зерна.

Материалы и методы. Исследования проводились на опытных полях Самарского ГАУ [2] в 2023, 2024 гг. Почва – чернозем типичный среднемощный тяжелосуглинистый: гумус – 5,3 %; pH сол. – 6,9; в слое 0-30 см (мг/кг) – азот легкогидролизуемый – 80-120, фосфор подвижный – 135-145 и калий подвижный – 150-195.

Яровые твердые пшеницы возделывались в зернопаропропашном севообороте, где яровые твёрдые пшеницы высевались после пара, озимой пшеницы, сои [4]. Посев проводился в оптимальные сроки, норма высева 4,5 млн. всхожих семян/га. Система обработки почвы включала варианты: вспашку на глубину 20-22см [2], рыхление на глубину 10-12 см [2] и без осенней механической обработки почвы [2]. Агротехника на опытном участке соответствовала общепринятой для возделывания яровых пшениц в данной зоне [3]. Посевная площадь делянки 420 м^2, учетная – 25 м^2, повторность трехкратная. В агроприемы входила подкормка в фазе кущения карбамидом5 кг/га. Определение биохимических показателей проводили ГОСТовским методами с технологическими модификациями [3].

Учёт урожая проводили сноповым методом с учетной делянки, по методике Госкомиссии по сортоиспытанию (1971) [2]. Статистическую обработку результатов проводили по Доспехову Б.А. (1985) с применением компьютерной программы STAT-1 [4].

Результаты. При сравнении показателей урожайности яровой твердой пшеницы сортов Безенчукская 210 и Триада в зависимости от обработки почвы и удобрений необходимо отметить, что урожайность зерна была выше у сорта Триада. В варианте рыхление с применением мочевины разность составила 0,16 т/га и на неудобренном фоне – 0,22 т/га. Все другие показатели урожайности имели меньшие значения. При анализе показателей массы 1000 зерен, натурной массы, стекловидности и содержания белка в зерне яровой твердой пшеницы сортов Безенчукская 210 и Триада было выявлено, что масса 1000 зерен и содержание белка были выше у сорта Триада, превышение составило на 6,4 и 7,8%, соответственно. Стекловидность и натурная масса имели более высокие значения в зерне яровой твердой пшеницы сортов Безенчукская 210, относительно сорта Триада, превышение составило на 7,1 и 1%, соответственно.

Высокий уровень рентабельности получен для сорта Триада, по рыхлению на неудобренном фоне – 144%, для сорта Безенчукская 210, также по рыхлению и без удобрений – 124%. При вспашке и без осенней обработки почвы уровень рентабельности был ниже на 28-30%, соответственно, на фоне внекорневой подкормки мочевиной – на 35-42%.

Выводы. Проведенные исследования показали, что сорт Триада, рекомендованный для южных регионов страны, дал более высокую урожайность зерна на 8,3% по сравнению с рекомендованным сортом Безенчукская 210 для данного региона. Способ обработки почвы, обеспечивающий высокую урожайность, оказался – рыхление, прибавка составила на 0,22 т/га, вариант без осенней механической обработки почвы, уменьшение – на 0,76 т/га, относительно вспашки. Подкормка мочевиной, проведенная в фазе кущения, наибольшее влияние оказала в варианте рыхление превышение составило на 0,16 т/га. Масса 1000 зерен и содержание белка превышали на 6,4 и 7,8%, соответственно; стекловидность и натурная масса имели более низкие значения, понижение составило на 7,1 и 1%, соответственно; уровень рентабельности по рыхлению на неудобренном фоне был выше 20%, при применении мочевины на 9,9%.

Библиографический список

1. Бакаева, Н. П. Эффективность применения гербицидов в агротехнологии яровой пшеницы / Н. П. Бакаева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 16-22. DOI 10/12737/23608.

2. Бакаева, Н. П. Влияние крупности зерна на распределение показателей качества зерна сортов яровой пшеницы / Н. П. Бакаева // Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры : Научные труды международной научно-практической конференции,

посвященной 100-летию аграрной науки, образования и просвещения в Среднем Поволжье, Казань, 13–14 ноября 2019 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 32-36. – EDN FPFQIK.

3. Литовкин Е. И. Сортовые особенности и продуктивность сортов яровых пшениц Безенчукская 210 и Триада при возделывании в среднем Поволжье / Е. И.Литовкин, П. В. Мельников // Константиновские чтения: сб. науч. тр. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ.– 2025. – С.76-83.

4. Трифонов А. С. Опыт возделывания озимой пшеницы сорта Виктория 11 рекомендованного для южных районов России в условиях среднего Поволжья/ А. С. Трифонов, Н. М. Ерзамаев // Современные проблемы агропромышленного комплекса: сб. науч. тр. Кинель : ИБЦ Самарского ГАУ. – 2025, – С. 356-351.

УДК: 633.11:631.523:632.938

ОЦЕНКА ОБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СЕЛЕКЦИИ НА СКОРОСПЕЛОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ К БОЛЕЗНЯМ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ РФ

Мария Дмитриевна Метт[1], Инна Федоровна Лапочкина[1], Ирина Юрьевна Макарова[1], Наталья Алексеевна Яшина[1], Михаил Георгиевич Дивашук[1,2], Анастасия Геннадьевна Черноок[2], Анастасия Андреевна Лаппо[2]
[1] ФИЦ «Немчиновка», Москва
[2] ФГБНУ ВНИИСБ, Москва

Аннотация. Проведена оценка фенологических фаз и молекулярная идентификация аллельного состояния генов *Vrn*, *Ppd* и *tsn1* у 47 образцов яровой мягкой пшеницы различного географического происхождения. На основе результатов проведен отбор перспективных генотипов для использования в селекции на скороспелость и устойчивость к желтой пятнистости (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs *(Ptr)*) в условиях Нечерноземной зоны РФ.

Ключевые слова: яровая пшеница, гены *Vrn* и *Ppd*, устойчивость, скороспелость.

EVALUATION OF ACCESSIONS OF SPRING BREAD WHEAT FOR USE EARLY MATURITY AND RESISTANCE TO DISEASES BREEDING IN THE NON-CHERNOZEM ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Maria Dmitrievna Mett[1], Inna Fedorovna Lapochkina[1], Irina Yuryevna Makarova[1], Natalia Alekseyevna Yashina[1], Mikhail Georgievich Divashuk[1,2], Anastasia Gennadievna Chernook[2], Anastasia Andreevna Lappo[2]
1 – FRC «Nemchinovka», Moscow, Russia
2 – All-Russia Research Institute of Agricultural Biotechnology, Moscow, Russia

Abstract. The evaluation of phenological stages and the molecular identification of allelic states of the *Vrn, Ppd,* and *tsn1* genes in 47 spring bread wheat samples from various geographical origins was conducted. Based on the results, promising genotypes were chosen for use in breeding programs aimed at enhancing precocity and resistance to yellow spot (*Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs (*Ptr*)) in the Non-Chernozem region of the Russian Federation.

Key words: *spring wheat, Vrn and Ppd genes, resistance to diseases, early maturity.*

Введение. Яровая пшеница – важная продовольственная культура в России. Одной из задач ее селекции в нашей стране является сокращение длины вегетационного периода пшеницы. К основным генам, контролирующим длину фаз развития пшеницы, относятся гены яровизации *Vrn* и фотопериода *Ppd*. Главными генами, определяющими потребность растений в яровизации, являются *Vrn-A1, Vrn-B1* и *Vrn-D1*, локализованные на хромосомах 5A, 5B и 5D соответственно [1]. Основными генами, влияющими на чувствительность к длине дня, являются *Ppd-A1, Ppd-B1* и *Ppd-D1,* локализованные на хромосомах 2A, 2B и 2D соответственно [1]. Хотя влияние этих генов на скороспелость изучено для Сибири, Краснодарского края и Северо-Запада России [3, 4], для Центрального региона подобные исследования еще не проводились. Актуален для нашей зоны также отбор на устойчивость к желтой пятнистости листьев. Возбудитель болезни – гриб *Pyrenophora tritici-repentis* (Died.) Drechs *(Ptr)* [2]. Он поражает растения с доминантным геном восприимчивости *Tsn1* [2]. Устойчивые образцы можно отбирать с помощью молекулярного маркера, предложенного Faris et. al [8].

Цель работы – оценить образцы яровой мягкой пшеницы различного происхождения по генам *Vrn, Ppd* и *tsn1* и отобрать генотипы для селекции на скороспелость и устойчивость к *Ptr* в Нечерноземной зоне РФ.

Материалы и методы. Материалом для анализа стали 47 образцов яровой мягкой пшеницы, представленные сортами селекции ФИЦ «Немчиновка», линиями коллекции «Арсенал», несущими чужеродный генетический материал, а также образцами из удалённых регионов (Иран, Алтай). Фенологические фазы определяли согласно общепринятым методикам. Идентификацию генов *Ppd, Vrn* и *tsn1* проводили с использованием молекулярных маркеров [5, 6, 7, 8, 9, 10] в лаборатории ФГБНУ ВНИИСБ.

Результаты. Все образцы разделены на три группы в соответствии с их происхождением. В первую группу были отнесены 15 сортов и линий селекции ФИЦ «Немчиновка». Почти все образцы этой группы отличаются фазой «всходы-колошение» от 45 до 50 дней. У трех образцов (Беляна, Марфа и линия 13-23, полученная от скрещивания Saturn x Злата) идентифицирован нечувствительный к фотопериоду ген *Ppd-B1a* в сочетании с *Vrn-A1b* и *Vrn-B1*. Они характеризуются длиной фазы «всходы-колошение» – от 45 до 51 дней. У семи сортов этой группы идентифицирован ген устойчивости к желтой пятнистости.

Образцы из географически удаленных регионов: Ибаа 99 и Махибах из Ирана и линия Хакасская из Алтая имеют более короткий период «всходы-колошение» – 41-47 дней. В генотипе иранского сорта Ибаа 99 идентифицированы гены *Ppd-A1a, Vrn-B1* и *Vrn-D1,* а у сорта Махибах – *Vrn-A1b* и *Vrn-D1*. У линии Хакасская обнаружен один доминантный ген *Vrn-A1b*. У сорта Ибаа 99 и линии Хакасская идентифицирован ген устойчивости *tsn1*.

Линии коллекции «Арсенал» первичного происхождения были получены непосредственно от скрещивания сорта Родина с разными видами *Aegilops* и *Triticum kiharae*. Фаза «всходы-колошение» у этих линий варьируется от 40 (у

линии Л592) до 60 дней (у линии 113/00i-4). У 6 линий этой коллекции в генотипе встречается нечувствительный к фотопериоду ген *Ppd-D1a*, который оказывает наиболее сильное влияние на скороспелость [4]. Также у 6 линий в генотипе обнаружен аллель *Ppd-B1a.* У линии 120/00i этот ген идентифицирован в сочетании с геном *Ppd-D1a* и доминантным *Vrn-A1b*. У самой скороспелой линии этой группы, Л592, идентифицирован один доминантный ген *Vrn-A1b*. А у самой позднеспелой линии, 113/00i-4, выявлен *Vrn-A1b* в сочетании с гетерозиготным *Vrn-B1*. Все линии коллекции устойчивы к *Ptr* и несут ген *tsn1*.

Линии коллекции «Арсенал» вторичного происхождения (28/16i, 31/16i, 36/16i, 48/16i) созданы на основе доноров устойчивости к стеблевой ржавчине (раса Ug99) из той же коллекции, скрещенных с болгарской селекционной линией GT 96/90. Продолжительность фазы «всходы–колошение» у этих линий составила 50–53 дня. У линий 28/16i и 36/16i обнаружена комбинация генов *Ppd-B1a, Vrn-A1b* и *Vrn-B1*, а также выявлена устойчивость к *Ptr*.

Выводы. Наиболее скороспелые генотипы выявлены среди сортов селекции ФИЦ «Немчиновка» (Марфа, Злата) и географически удаленных регионов (Ибаа 99, Махибах), а также в коллекции «Арсенал» (Л592, 124/05i). Данные образцы, в том числе несущие ген устойчивости к *Ptr (tsn1),* вовлечены в скрещивания для создания адаптированных генотипов для Нечерноземной зоны РФ.

Библиографический список

1. Гончаров, Н.П. Сравнительная генетика пшениц и их сородичей / Н.П. Гончаров. – Изд. 2, испр. и доп – Новосибирск: Гео, 2012. – 523 с.
2. Коваленко Н. М., Шайдаюк Е. Л., Гультяева Е. И. Характеристика устойчивости районированных сортов мягкой пшеницы к возбудителю желтой пятнистости //Биотехнология и селекция растений. – 2022. – Т. 5. – №. 2. – С. 15-24.
3. Лихенко И. Е. и др. Изучение аллельного состава генов Vrn-1 и Ppd-1 у раннеспелых и среднеранних сортов яровой мягкой пшеницы Сибири //Вавиловский журнал генетики и селекции.–2015.–Т.18.–№.4/1. – С. 691-703.
4. Потокина Е. К. и др. Комбинация аллелей генов Ppd и Vrn определяет сроки колошения у сортов мягкой пшеницы //Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 16. – №. 1. – С. 77-86.
5. Beales J. et al. A pseudo-response regulator is misexpressed in the photoperiod insensitive Ppd-D1a mutant of wheat (Triticum aestivum L.) //Theoretical and Applied Genetics. – 2007. – Т. 115. – №. 5. – С. 721-733.
6. CerealsDB [Электронный ресурс]. – URL: https://www.cerealsdb.uk.net/cerealgenomics/CerealsDB/indexNEW.php (дата обращения: 13.09.2025).
7. Díaz A. et al. Copy number variation affecting the Photoperiod-B1 and Vernalization-A1 genes is associated with altered flowering time in wheat (Triticum aestivum) //PloS one. – 2012. – Т. 7. – №. 3. – С. e33234.

8. Faris J. D. et al. Molecular and cytogenetic characterization of a durum wheat–Aegilops speltoides chromosome translocation conferring resistance to stem rust //Chromosome Research. – 2008. – Т. 16. – №. 8. – С. 1097-1105.

9. Fu D. et al. Large deletions within the first intron in VRN-1 are associated with spring growth habit in barley and wheat //Molecular genetics and genomics. – 2005. – Т. 273. – №. 1. – С. 54-65.

10. Rasheed A. et al. Development and validation of KASP assays for genes underpinning key economic traits in bread wheat //Theoretical and Applied Genetics. – 2016. – Т. 129. – №. 10. – С. 1843-1860.

УДК: 633.1 : 631.527

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИОННЫХ СОРТООБРАЗЦОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ян Евгеньевич Вильховой, аспирант,
Елена Александровна Вертикова, д.с.-х.н., профессор
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования некоторых коллекционных сортообразцов пшеницы мягкой яровой канадской селекции в условиях Нечерноземной зоны РФ в 2023 г. Проведена оценка данных фенологических наблюдений, погодных условий за период вегетации, структуры урожая, качества зерна.

Ключевые слова: пшеница мягкая яровая, канадские сорта, структура урожая, качество зерна, стекловидность, клейковина.

EVALUATION OF COLLECTIBLE VARIETIES OF SPRING SOFT WHEAT IN THE NON-CHERNOZEM ZONE OF THE RUSSIAN FEDERATION

Yan Evgenievich Vilkhovoy, PhD student
Elena Aleksandrovna Vertikova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. This article presents the results of a study of some collectible varieties of Canadian soft spring wheat in the Non-Chernozem zone of the Russian Federation in 2023. The data of phenological observations, weather conditions during the growing season, crop structure, and grain quality were evaluated.

Keywords: soft spring wheat, Canadian varieties, crop structure, grain quality, grain glassiness, gluten.

Введение. Род пшеница (*Triticum*), относящийся к семейству мятликовых (*Poaceae*), или злаковых (*Gramineae*), насчитывает 27 видов, из которых наибольшую хозяйственную ценность имеют пшеницы твердая (*T. durum*) и мягкая (*T. aestivum*).

Биологические, исторические и экономические предпосылки привели к тому, что пшеница является одной из основных сельскохозяйственных культур для современного мира. Во многом это связано с пластичностью культуры, которая позволяет возделывать её практически на всем земном шаре, кроме зон с экстремально суровым климатом.

В нашей стране значительную часть посевов занимает мягкая пшеница, что также связано с достижениями в создании сортов, адаптированных к условиям новых регионов возделывания, в частности, к условиям Нечерноземной зоны России.

Целью исследования является оценка сортообразцов коллекции яровой мягкой пшеницы, возделываемых в условиях Нечерноземной зоны России., по комплексу хозяйственно-ценных признаков. *Задачи* исследования: изучить продолжительность вегетационного периода у сортообразцов; провести анализ структуры урожая сортообразцов; оценить качество зерна; выделить перспективные сортообразцы с высокими показателями хозяйственно-ценных признаков.

Материалы и методы. В опыте изучались 13 канадских сортов, относящихся к различным биологическим разновидностям: BW-90 (*lutescens*), CDC Merlin (*lutescens*), Chester (*lutescens*), Cultur (Erythrospermum), Glenlea (*lutescens*), Laura (*erithrospermum*), Leader (*lutescens*), Majestic (*lutescens*), Mc Kenzie (*erithrospermum*), Oslo (*erithrospermum*), Pasqua (*lutescens*), Roblin (*lutescens*); в качестве стандарта выступал сорт Злата селекции ГНУ МосНИИСХ «Немчиновка» (ныне ФИЦ «Немчиновка») совместно с Рязанским НИИСХ.

Исследования проводились в 2023 г.; для целей эксперимента на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева был заложен однофакторный полевой опыт в трехкратной повторности с размещением вариантов методом организованных повторений, размещение повторений – сплошное.

Посев был осуществлен 27 апреля 2023 г.; во время вегетации проводили агротехнические приемы, стандартные для зоны проведения исследования, уборку опыта провели в фазу полной спелости зерна образцов.

По мере развития растений вели регистрацию наступления фенологических фаз для каждого сорта. После уборки опыта в лабораторных условиях оценивали структуру урожая и качество полученного зерна.

Подсчет количества зерен вели с помощью автоматического счетчика семян SLY-C Plus; стекловидность зерна определяли оптико-компьютерным методом (ГОСТ Р 7062-2023) на электронном диафаноскопе «Янтарь». Содержание клейковины и белка определяли методом ИК-спектрометрии на анализаторе SpectraStar 2600XT-3.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в программе DIANA.

Результаты и обсуждение. Погодные условия за вегетационный период 2023 г. в сравнении со среднемноголетними значениями по данным наблюдений Метеорологической обсерватории им. В. А. Михельсона приведены на рис. В год проведения исследования среднедекадная температура в целом была близка к среднемноголетним значениям, однако выпадение осадков было крайне неравномерным и практически не совпадало со среднемноголетними значениями.

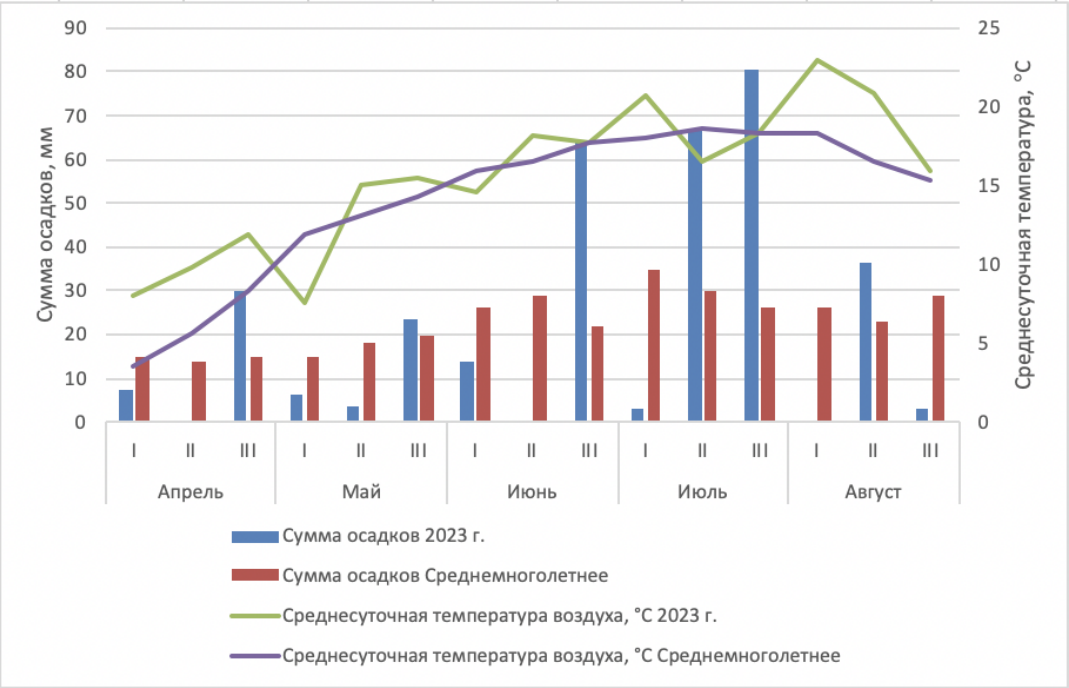


Рисунок. Среднесуточная температура и сумма осадков за период вегетации 2023 г. (подекадно) в сравнении со среднемноголетними значениями

По датам наступления фенологических фаз были установлены следующие размахи значений по коллекции: полные всходы – 1 сут, кущение – 3 сут, выход в трубку – 4 сут, колошение – 4 сут, цветение – 3 сут, молочная спелость – 4 сут, восковая спелость – 4 сут, полная спелость – 4 сут. Размах различий длины вегетационного периода составил 3 сут: первыми по коллекции достигли фазы полной зрелости зерна сорта Culter и McKenzie, Laura и Roblin (87 и 88 сут с даты появления проростков соответственно), последним – сорт Glenlea (91 сут). В целом можно судить о достаточно слабой вариации сортов по оценке дат наступления фенологических фаз и длине вегетационного периода.

Данные о структуре урожая приведены в табл. 1. По высоте растений статистически достоверно (при 5%-ом уровне значимости) отличились от стандарта сорта Laura, CDC Merlin, Chester и Glenlea и со значениями 61,2, 64,4 65,4 и 66,3 см соответственно. Продуктивная кустистость по всем сортам составила 1,0. По длине колоса достоверных различий между сортообразцами и стандартом не обнаружено. По общему количеству колосков в колосе стандарт (10,8 шт.) достоверно превысили сортообразцы CDC Merlin (12,7 шт.), Culter (12,8 шт.), Glenlea (12,7 шт.), Laura (13,4 шт.) и Oslo (12,9 шт.). По количеству развитых колосков в колосе стандарт (9,2 шт.) статистически достоверно превысило большинство сортообразцов (со средним значением между ними 11,8), не превысили по данному показателю стандарт сорта Majestic (10,6 шт.), Pasqua (10,2 шт.) и Roblin (10,5 шт.) – они были на уровне стандарта. По массе зерна с колоса все сортообразцы оказались на уровне стандарта (1,0 г). По массе 1000 зерен стандарт (45,08 г) статистически достоверно превысили сорта Culter (47,06 г), Glenlea (47,49 г) и Oslo (46,85 г). Таким образом на данном этапе можно выделить сорта Culter, Glenlea и Oslo, достоверно превысившие показатели стандарта по таким элементам структуры урожая, как количество

колосков в колосе (общее количество и количество развитых) и масса 1000 зерен.

Таблица 1 – Результаты анализа структуры урожая сортов коллекции, 2023 г.

Сорт	Высота растений, см	Длина колоса, см	Общее кол-во колосков, шт.	Кол-во развитых колосков, шт.	Масса с колоса, г	Масса 1000 зерен, г
Злата (st)	54,5	8,1	10,8	9,2	1,0	45,1
BW-90	57,4	7,1	12,0	11,7*	0,98	43,19
CDC Merlin	64,4*	6,7	12,7*	11,9*	1,05	42,62
Chester	65,4*	6,2	12,0	11,4*	0,92	36,81
Culter	52,6	8,3	12,8*	11,8*	0,79	47,06*
Glenlea	66,3*	8,4	12,7*	11,6*	1,29	47,49*
Laura	61,2*	6,7	13,4*	12,6*	1,14	38,14
Leader	58,7	5,9	11,4	11,1*	0,81	33,61
Majestic	55,4	6,3	11,0	10,6	0,70	38,34
McKenzie	55,8	6,3	12,0	11,7*	0,98	42,76
Oslo	52,8	8,1	12,9*	12,4*	1,05	46,85*
Pasqua	55,1	5,8	10,5	10,2	0,83	39,63
Roblin	53,9	6,3	10,6	10,5	1,02	42,02
$НСР_{05}$	6,64	0,80	1,22	1,43	0,33	0,39

* - Отличие от стандарта достоверно на 5-% уровне значимости.

Данные по результатам оценки качества зерна сортов коллекции приведены в табл. 2. По стекловидности все сорта превысили стандарт (69%); наибольшее значение (86%) было получено у образцов Chester и McKenzie. Содержание белка по образцам коллекции варьировало в пределах 13,0-15,7%; стандарт (14,0%) превысили сорта BW-90, Laura, Leader, Majestic, McKenzie, Oslo, Roblin. При этом по содержанию клейковины значение стандарта (24,5%) было превышено всеми сортами коллекции.

Таблица 2 – Качество зерна сортов коллекции, 2023 г.

Сорт	Стекловидность, %	Белок, %	Клейковина, %
Злата (st)	69	14,0	24,5
BW-90	83	15,7	37,8
CDC Merlin	77	13,0	33,6
Chester	86	13,9	37,5
Culter	71	13,8	33,0
Glenlea	80	13,6	35,4
Laura	83	14,9	35,5
Leader	82	14,4	32,5
Majestic	82	16,1	38,7
McKenzie	86	15,1	38,1
Oslo	73	14,4	32,4
Pasqua	75	13,5	35,0
Roblin	78	15,1	38,4

На основе полученных данных можно сделать первичные выводы о целесообразности использования данных сортообразцов в селекционной работе.

Заключение. В результате проведенной первичной оценки коллекции сортов яровой мягкой пшеницы канадской селекции получены данные о фенологическом развитии растений, их продуктивности и качестве зерна.

По продолжительности вегетационного периода все изучаемые сортообразцы статистически достоверно не отличались от сорта-стандарта Злата; наименьшая продолжительность была отмечена у сорта Culter (86 суток), наименьшая – у сорта Glenlea (90 суток). По показателям продуктивности выделены сорта Culter, Glenlea и Oslo, достоверно превысившие показатели стандарта по таким элементам структуры урожая, как количество колосков в колосе (общее количество и количество развитых) и масса 1000 зерен. По показателям качества (стекловидность и содержание клейковины) все изучаемые сортообразцы превысили показатели стандарта. Отдельно выделены сорта BW-90, Laura, Leader, Majestic, McKenzie, Oslo, Roblin, превысившие стандарт также и по содержанию белка (14,9 % и выше).

Первичная комплексная оценка показала, что по показателям продуктивности все сортообразцы находятся на уровне стандарта или превышают его по некоторым показателям; по показателям качества зерна все образцы превышают стандарт по стекловидности и количеству клейковины.

По результатам первичной оценки сорта коллекции охарактеризованы как перспективные, рекомендовано их дальнейшее исследование.

Библиографический список

1. Давыдова, Н.В. Особенности подбора исходного материала для селекции яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья / Н.В. Давыдова, А.О. Казаченко // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. – 2013. – №5. – С. 5

2. Ананьева, З.П. Селекция яровой мягкой пшеницы // Селекция с.-х. культур: итоги, задачи, пути решения / З.П. Ананьева. –Новосибирск, 1997. –С. 7.

3. Вильховой Я. Е. и др. Оценка высоты растений и длины колоса сортообразцов яровой мягкой пшеницы в условиях Центрального Нечерноземья //ББК 4 В12. – 2023. – С. 147.

4. Вильховой, Я. Е. Оценка коллекции сортов пшеницы мягкой яровой канадской селекции в условиях Московской области / Я. Е. Вильховой, Е. А. Вертикова // Селекция и семеноводство: новые вызовы и возможности, устойчивое развитие и продовольственная безопасность : материалы V Международной научной конференции, Москва, 27–28 марта 2025 года. – Москва: ФГБНУ ФИЦ "Немчиновка", 2025. – С. 102-107.

5. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта: учебник / Б.А. Доспехов. -М.: Колос, 1979. –238 с.

6. Rubets V. et al. Grain quality and associated characteristics and properties of spring wheat of Canadian breeding //E3S Web of conferences. – EDP Sciences, 2021. – Т. 254. – С. 01043.

633.111.1:631.526.322

ИЗУЧЕНИЕ КОЛЛЕКЦИИ ПЛЕНЧАТЫХ ВИДОВ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЦРНЗ РФ

Фабричнова Варвара Владимировна, Роман Олегович Михалев
Научный руководитель – *Симагин Александр Дмитриевич*
ФГБОУ ВО РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Аннотация. В статье представлены результаты полевых и лабораторных исследований коллекции из 9 сортообразцов пленчатых видов яровой пшеницы (Triticum ispahanicum и Triticum dicoccum) в условиях Центрального района Нечерноземной зоны (ЦРНЗ) в 2021 году. Проведена комплексная оценка морфологических признаков, фенологии и элементов структуры урожая. Выявлены образцы, сочетающие оптимальную высоту растений, высокую продуктивность и устойчивость, что представляет ценность для селекционных программ. Наибольший потенциал урожайности показали образцы № 7,8,9 и 5.

Ключевые слова: пшеница, пленчатая пшеница, полба, *Triticum dicoccum*, *Triticum ispahanicum*, морфологические признаки, структура урожая, фенология.

STUDY OF A COLLECTION OF HULLED WHEAT SPECIES IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL REGION OF THE NON-CHERNOZEM ZONE

Fabrichnova Varvara Vladimirovna, Roman Olegovich Mikhalev
Scientific supervisor – *Simagin Alexander Dmitrievich*
K.A. Timiryazev Moscow State Agricultural Academy, Moscow, Russia

Abstract. The article presents the results of field and laboratory studies of a collection of 9 accessions of hulled spring wheat species (*Triticum ispahanicum* and *Triticum dicoccum*) in the conditions of the Central Region of the Non-Chernozem Zone (CRNZ) in 2021. A comprehensive assessment of morphological traits, phenology, and yield structure elements was carried out. Accessions combining optimal plant height, high productivity, and resistance were identified, which are valuable for breeding programs. The highest yield potential was shown by accessions No. 7,8,9 and 5.

Keywords: wheat, hulled wheat, spelt, *Triticum dicoccum, Triticum ispahanicum*, morphological traits, yield structure, phenology.

Введение. Пленчатые виды пшеницы, такие как полба (*Triticum dicoccum*) и пшеница исфаханская (*Triticum ispahanicum*), представляют интерес как генетические ресурсы для селекции благодаря устойчивости к болезням и неблагоприятным условиям среды. Целью данной работы являлось описание

коллекции сортообразцов пленчатых видов пшеницы различного уровня плоидности по морфологическим признакам и их адаптивности к условиям Центрального района Нечерноземной зоны.

Материалы и методы. Для исследования использовали 9 сортообразцов пленчатых видов яровой пшеницы, предоставленные Институтом общей генетики (Таблица 1). Образцы различались по плоидности, степени окультуренности и комплексу хозяйственно-полезных признаков.

Таблица 1 – Образцы пленчатых видов яровой пшеницы, включенные в изучение в 2021 г.

№ п/п	Название вида	Разновидность	Номер по каталогу
1	*Triticum ispahanicum*	var. ispahanicum	TRI 7260, Советский Союз
2	*Triticum ispahanicum*	var. ispahanorufum	TRI 19149, Иран
3	*Triticum dicoccum*	var. dicoccum	к-12946, Швейцария
4	*Triticum dicoccum*	var. rufum	к-20579, Испания
5	*Triticum dicoccum*	var. volgense	к-40032, Югославия
6	*Triticum dicoccum*	var. unimiegei	к-15840, Марокко
7	*Triticum dicoccum*	var. arras	к-25459, Йемен
8	*Triticum dicoccum*	var. haussknechtianum	к-45543, Иран
9	*Triticum dicoccum*	var. serbicum	к-7356, Россия

Полевой опыт проводили на Полевой опытной станции в 2021 году. Предшественник – горчица белая. Агротехника соответствовала зональным рекомендациям. Посев проведен 12 мая, норма высева – 30 семян/пог.м. Учетная площадь делянки – 1-2 рядка по 1 м без повторностей. В течение вегетации проводили фенологические наблюдения, фиксировали даты всходов, колошения и восковой спелости. Уборку проводили вручную с последующим анализом структуры урожая в лабораторных условиях.

Анализ результатов фенологических наблюдений. Исследуемые образцы различались по датам наступления фенологических фаз, данные представлены в таблице №2. Фенологические наблюдения и высота растений. Все образцы показали дружные всходы 21 мая. Даты колошения варьировали от 23 июня (образец 6) до 1 июля (образцы 4, 9), что указывает на различия по скороспелости. Высота растений варьировала от 60 до 80 см (Таблица 2). Большинство образцов (2, 3, 4, 5, 7, 8, 9) соответствовали оптимальному для ЦРНЗ диапазону высоты (70-100 см), в то время как образец 1 (60 см) оказался ниже оптимума.

Таблица 2 – Высота растений пшеницы и даты наступления основных фенологических фаз

№ образца	Дата наступления фенофазы			Высота растений, см
	всходы	колошение	восковая спелость	
1	21 мая	28 июня	22 июля	60
2	21 мая	28 июня	26 июля	78

Продолжение таблицы 2

3	21 мая	28 июня	26 июля	80
4	21 мая	01 июля	26 июля	71
5	21 мая	28 июня	22 июля	74
6	21 мая	23 июня	22 июля	64
7	21 мая	28 июня	22 июля	79
8	21 мая	28 июня	22 июля	76
9	21 мая	01 июля	26 июля	77

Для детальной характеристики потенциала урожайности был проведен **анализ структуры урожая** (таблица 3).

Таблица 3 - Морфометрические показатели структуры урожая изученных образцов пшеницы

№	Высота стебля, см	Продуктивная кустистость, шт/раст.	Общее число колосков, шт	Число развитых колосков, шт	Длина стержня, см	Плотность колоса, шт/10 см
1	55,84 ± 1,43	2,86 ± 0,24	12,93 ± 0,25	10,52 ± 0,38	7,52 ± 0,39	16,45 ± 0,35
2	77,81 ± 2,98	3,00 ± 0,26	18,63 ± 0,30	15,26 ± 0,43	7,15 ± 0,17	24,88 ± 0,49
3	80,03 ± 2,22	2,26 ± 0,16	18,14 ± 0,58	13,86 ± 0,67	4,63 ± 0,19	37,91 ± 1,07
4	71,24 ± 2,11	1,38 ± 0,19	16,57 ± 0,98	11,90 ± 0,92	7,51 ± 0,42	19,84 ± 1,16
5	73,93 ± 1,76	3,95 ± 0,37	14,98 ± 0,31	10,08 ± 0,72	5,53 ± 0,14	25,53 ± 0,42
6	64,53 ± 1,47	2,50 ± 0,29	18,60 ± 0,37	14,88 ± 0,51	4,64 ± 0,11	38,91 ± 1,34
7	79,76 ± 1,56	4,70 ± 0,50	18,87 ± 0,31	15,96 ± 0,57	4,60 ± 0,09	39,23 ± 1,06
8	76,73 ± 1,64	3,53 ± 0,44	13,27 ± 0,20	10,17 ± 0,47	4,95 ± 0,14	25,22 ± 0,69
9	77,18 ± 1,96	2,29 ± 0,21	19,68 ± 0,62	15,68 ± 1,00	7,92 ± 0,30	24,05 ± 0,58

Примечание: Данные представлены как M ± m, где M – среднее значение, m – стандартная ошибка.

Наибольшей продуктивной кустистостью отличались образцы № 7 (4,70) и № 5 (3,95). Наибольшее общее число колосков зафиксировано у образца № 9 (19,68), а наибольшее число развитых колосков – у № 7 (15,96). По плотности колоса (расчетный признак) образцы № 3, 6 и 7 были отнесены к категории плотных (более 29 колосков/10 см), в то время как образцы № 1 и 4 имели рыхлый колос. Ключевые показатели продуктивности представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Показатели продуктивности изученных образцов пшеницы

№	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерна с растения, г	Масса 1000 зерен, г
1	12,76 ± 0,89	0,99 ± 0,11	34,22 ± 0,81
2	21,15 ± 1,70	1,55 ± 0,21	50,57 ± 18,37
3	23,26 ± 1,66	1,25 ± 0,13	26,77 ± 0,95
4	7,67 ± 1,60	0,47 ± 0,14	26,02 ± 4,66
5	16,58 ± 1,30	1,74 ± 0,27	27,12 ± 1,42
6	16,65 ± 0,81	1,35 ± 0,21	35,09 ± 1,15
7	15,87 ± 1,60	2,34 ± 0,33	34,69 ± 1,85
8	15,67 ± 1,23	1,76 ± 0,30	34,21 ± 1,28
9	23,92 ± 1,78	1,57 ± 0,18	32,54 ± 1,40

Наибольшее число зерен в колосе отмечено у образцов № 9 (23,92) и № 3 (23,26). Наибольшая масса зерна с растения зафиксирована у образцов № 7 (2,34 г) и № 8 (1,76 г). Максимальная масса 1000 зерен характерна для образца № 2 (50,57 г), однако с высокой стандартной ошибкой, что требует дополнительной проверки.

Выводы:

1. Проведенное исследование выявило значительное разнообразие изученных сортообразцов пленчатой пшеницы по морфологическим признакам и элементам структуры урожая.
2. Большинство образцов соответствовали оптимальной для ЦРНЗ высоте растений (70-100 см) и показали высокую полевую устойчивость.
3. Наибольший потенциал урожайности, определяемый по комплексу признаков (продуктивная кустистость, число и масса зерен с растения), выявлен у образцов № 7 (*T. Dicoccum* var. *arras*), № 8 (*T. Dicoccum* var. *haussknechtianum*), № 9 (*T. Dicoccum* var. *serbicum*) и № 5 (*T. Dicoccum* var. *volgense*).

4. Перспективные образцы рекомендованы для дальнейшего углубленного изучения и использования в селекционных программах как источники ценных хозяйственных признаков.

Библиографический список

1. Щелканов, Д. А. Оценка коллекции полбы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны России (Triticumdicoccum) / Д. А. Щелканов, А. С. Клепикова // Вавиловские чтения - 2022 : Сборник статей Международной научно-практической конференции, посвященной 135-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова, Саратов, 22–25 ноября 2022 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью "Амирит", 2022. – С. 236-242.

2. Методические рекомендации по определению сортовых качеств семян в полевых условиях / А. М. Малько, М. А. Козлова, Ф. А. Верхотурцев [и др.] ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Москва : Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2006. – 224 с.

3. Oilseed flax and alfalfa as sources of nutrient elements in the Central region of non-chernozem zone of Russia / A. Simagin, N. Barsukov, S. Zakharova, A. Simagina // BIO Web of Conferences : International Scientific and Practical Conference “Methods for Synthesis of New Biologically Active Substances and Their Application in Various Industries of the World Economy – 2023” (MSNBAS2023), Moscow, 05–06 декабря 2023 года. – Les Ulis: EDP Sciences - Web of Conferences, 2024. – P. 02010. – DOI 10.1051/bioconf/20248202010.

4. Биоресурсная коллекция льна кафедры генетики, селекции и семеноводства ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / А. Д. Симагин, А. С. Симагина, С. А. Захарова, Е. А. Вертикова // Генофонд и селекция растений : Материалы 7-й Международной конференции, посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова, Новосибирск, 10–12 апреля 2024 года. – Новосибирск: Федеральный исследовательский центр институт цитологии и генетики СО РАН, 2024. – С. 314-316. – DOI 10.18699/GPB2024-79.

5. Симагина, А. С. Оценка коллекционных образцов льна-долгунца зарубежного происхождения в условиях Центрального района нечерноземной зоны России / А. С. Симагина, М. А. Ганичев // Константиновские чтения : СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, АСПИРАНТОВ, СТУДЕНТОВ И ШКОЛЬНИКОВ, Кинель, 19 февраля 2025 года. – Кинель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», 2025. – С. 174-178.

6. The Association of Grain Yield and Agronomical Traits with Genes of Plant Height, Photoperiod Sensitivity and Plastid Glutamine Synthetase in Winter Bread Wheat (Triticum aestivum L.) Collection / M. S. Bazhenov, L. A. Bespalova, A. A.

Kocheshkova [et al.] // International Journal of Molecular Sciences. – 2022. – Vol. 23, No. 19. – P. 11402. – DOI 10.3390/ijms231911402.

УДК 635.21:631.524.86(470.43)

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА КАРТОФЕЛЯ ПО УСТОЙЧИВОСТИ К ПАТОГЕНАМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАРКЕР-АССОЦИИРОВАННОЙ СЕЛЕКЦИИ

Артем Алексеевич Вязовой, Алексей Львович Бакунов,
Надежда Васильевна Гулаева
Самарский НИИСХ – филиал СамНЦ РАН*, Безенчук, Россия*

Аннотация. Объект исследований – сорта картофеля Джулия и Гелия и гибриды картофеля среднеранней группы спелости, проходящие конкурсное испытание. Наличие ДНК-маркеров, сцепленных с генами иммунитета к вирусу картофеля Y и X, устойчивости к золотистой нематоде, бледной нематоде и раку картофеля определяли методом ПЦР с детекцией капиллярным электрофорезом. Результаты показали, что весь исследованный материал картофеля содержит в генотипе 3 или 4 маркера генов устойчивости к золотистой картофельной нематоде и раку картофеля. Выделены генотипы картофеля, представляющие наибольшую ценность для агроклиматических условий Самарской области.

Ключевые слова: картофель; гибрид; сорт; полимеразная цепная реакция; патоген; гены устойчивости; капиллярный электрофорез.

EVALUATION OF PROMISING POTATO MATERIAL FOR RESISTANCE TO PATHOGENS USING MARKER-ASSOCIATED BREEDING METHODS

Artyom Alekseevich Vyazovoy, AlekseyLvovitch Bakunov,
Nadezhda Vasilievna Gulaeva
Samara Scientific Research Institute of Agriculture is a branch of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Bezenchuk, Russia

Abstract. The object of research is the Julia and Helium potato varieties and potato hybrids of the medium–early ripeness group, which are undergoing competitive testing. The presence of DNA markers linked to the genes of immunity to potato virus Y and X, resistance to golden nematode, pale nematode and potato cancer was determined by PCR with detection by capillary electrophoresis. The results showed that all the studied potato material contains 3 or 4 markers of resistance genes to golden potato nematode and potato cancer in the genotype. The potato genotypes that are of the greatest value for the agro-climatic conditions of the Samara region have been identified.

Keywords: potato; hybrid; variety; polymerase chain reaction; pathogen; resistance genes; capillary electrophoresis.

Введение. Картофель (*Solanum tuberosum* L.) является одним из основных культурных растений и важным продуктом питания во многих странах мира. Засуха, высокая температура воздуха и, вследствие этого, вирусная инфекция значительно снижают урожайность картофеля [1].

Одним из наиболее вредоносных и распространенных является Y-вирус картофеля. Самарская область отличается высоким уровнем инфицирования посадок картофеля Y-вирусом, а также вирусами S, M и смешанной инфекцией [2,3].

Оптимальный подбор сортов для каждого конкретного региона является существенным фактором, определяющим получение стабильно высокого и качественного урожая картофеля [4]. Необходимо создавать сорта, которые сочетают высокую адаптивность к абиотическим факторам среды и устойчивость или иммунитет к различным заболеваниям [5].

Цель работы. При помощи молекулярных маркеров оценить перспективный гибридный материал картофеля по наличию генов устойчивости к наиболее вредоносным патогенам.

Материалы и методы. Объект исследований – сорта картофеля Джулия и Гелия (оригинатор ООО «Агростар»), перспективные гибриды картофеля среднеранней группы спелости, проходящие конкурсное испытание в Самарском НИИСХ – филиале СамНЦ РАН: 2749-9 (Волат * Бриз), 2606-2 (Леди Клер * Голубка), 6/19 (Ночка * Сирень).Выделяли ДНКпри помощи набора реагентов для выделения нуклеиновых кислот из растительного материала «Фитосорб» (ООО Синтол, Россия).Амплифицировали выделенную ДНК анализируемых образцов на выявление ДНК-маркеров, сцепленных с генами иммунитета к искомым фитопатогенам, с использованием набора реагентов «ГенЭксперт, Маркеры генов устойчивости картофеля» (ООО Синтол, Россия). Далее осуществляли фрагментный анализ продуктов амплификации при помощи секвенатора «Нанофор 05» (ИАП, Россия).

Результаты. Молекулярно-генетический анализ показал, что весь исследованный материал картофеля содержит в генотипе 3 или 4 маркера генов устойчивости к золотистой картофельной нематоде и раку картофеля [табл. 1].

Ген устойчивости к бледной нематоде выявлен у сорта Гелия и гибридов 6/19, 2749-9 и 2606-2. Наличие в генотипе генов, обуславливающих иммунитет к Y-вирусу картофеля обнаружен у сортов Джулия, Гелия, гибрида 2749-9 (Rysto), и у гибрида 2606-2 (Ryadg). При этом сорт Гелия и гибриды 2749-9, 2606-2 сочетают иммунитет как к Y-вирусу, так и к X-вирусу картофеля, а гибрид 6/19 имеет иммунитет только к X-вирусу картофеля.

Таблица 1 – Результат скрининга исследуемого материала картофеля на наличие генов устойчивости

Образец	**Y-вирус. ДНК-маркер, ген**			**Золотистая нематода. ДНК-маркер, ген**			**Бледная нематода. ДНК-маркер, ген**		**Рак картофеля. ДНК-маркер, ген**	**X-вирус. ДНК-маркер, ген**
	RYSC3	Ry186	YES3-3A	TG-689	57R	N195	Gro 1-4-1	Gpa 2-2	Sen 1	Rx1
	Ry_{adg}	Ry_{chc}	Ry_{sto}	*H1*			*Gro1-4*	*Gpa 2*	NL 25	PVX
Джулия	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
Гелия	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+
6/19	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+
2749-9	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+
2606-2	+	-	-	+	+	+	-	+	+	+

Выводы. Выделены генотипы картофеля, представляющие наибольшую ценность для агроклиматических условий Самарской области. Сорт Гелия, гибриды 2749-9 и 2606-2 характеризуются наличием генов устойчивости к максимальному количеству патогенов (вирусы картофеля X и Y, бледная и золотистая нематоды, рак картофеля).

Библиографический список

1. Оценка перспективного материала картофеля по устойчивости к патогенам с использованием методов маркер-ассоциированной селекции / Вязовой А.А., Бакунов А.Л., Рубцов С.Л., Гулаева Н.В., Милехин А.В.; В книге: Мультишкола молодых ученых. Системная биология и биоинформатика (SBB-2024). Тезисы докладов 15-ой международной школа молодых ученых. Новосибирск, 2024. – С. 7;
2. Karasev A.V., Grau S. M. Continuous and emerging challenges of Potato virus Y in potato / Karasev A.V., Grau S. M.; Annual Review of Phytopathology. 2013. – P. 571-586;
3. Distribution of Potato virus Y in potato plant organs, tissues and sells / Kogovsek P., Kladnik A., Mlakar J., Znidarie M. T., Dermastia M., Ravnikar M., Pompe-Novak M; Phytopathology. 2011. –P. 1292-1300;
4. Сравнительная характеристика сортов картофеля различных групп спелости по продуктивности и устойчивости к заболеваниям / А.Л. Бакунов, Н.Н. Дмитриева, А.В. Милехин, С.Л. Рубцов; Изд-во «Общая биология», 2018 – с.757;
5. Оценка перспективного гибридного материала картофеля по пластичности, стабильности генотипа и устойчивости к патогенам / Бакунов А.Л., Рубцов С.Л., Вязовой А.А., Гулаева Н.В., Милехин А.В.; Аграрный научный журнал, 2025. – с. 4-10.

УДК 633.521: 631.527: 631.528

EMS-ИНДУКТИНГ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН У ГЕНОТИПОВ LINUM USITATISSIMUM L.

Константин Петрович Королёв
Тюменский государственный университет, г. Тюмень

Аннотация. Отражены результаты тестирования двух межсортовых гибридных линий льна-долгунца (F_5) на воздействие водного раствора химического мутагена ЭМС. Выявлена неоднозначность ответных реакций по прорастанию семян в моделируемых условиях среды. Статистически доказан летально-стимулирующий эффект (LSD_{50}) данного агента по изученным показателям, что позволяет его использовать для дальнейших селекционно-генетических исследований.

Ключевые слова: лен-долгунец, гибрид, индуцированный мутагенез, индекс прорастания, изменчивость, селекционный отбор.

EMS-INDUCTION OF VARIABILITY OF SEED GERMINATION IN GENOTYPES OF LINUM USITATISSIMUM L.

Konstantin Petrovich Korolev
Tyumen State University, Tyumen, Russia

Abstract. The results of testing two intervarietal hybrid lines of flax (F5) on the effect of an aqueous solution of the chemical mutagen EMS are presented. The ambiguity of responses to seed germination in simulated environmental conditions is revealed. The lethal-stimulating effect (LSD50) of this agent is determined for the parameters studied, which allows it to be used for further selection and genetic research.

Key words: flax, hybrid, induced mutagenesis, germination index, variability, breeding selection.

Введение. Лен-долгунец – это важное прядильное растение, обладающее ценным биологическим потенциалом в различных почвенно-климатических условиях выращивания. Возрастающие требования к получаемой продукции льноводства требуют для этого новых современных сортов, что вызывает необходимость расширения разнообразия льна различными методами, одним из которых является индуцированный мутагенез [1-2]. Эффективность данного метода подтверждена многочисленными отечественными и зарубежными исследованиями [3,4] однако, при этом, не все химические мутагены достаточно хорошо изучены на льне, что и обусловило проведение данного этапа комплексной работы. Цель исследований– выявление реакционной

способности генотипов льна-долгунца при обработке семян химическим мутагеном.

Материал и методика. Для выявления эффективности этилметансульфоната (ЭМС) в качестве объектов изучения были использовали две межсортовые гибридные линии (F_5) льна-долгунца ($Я_{2-3-1}$ и $Я_{12-1-9}$) которые изначально получены в системе диаллельных скрещиваний.

Исследования осуществляли в 2024 г. в лаборатории Школы естественных наук Тюменского государственного университета. Схема опыта: замачивание семян (n=100) при экспозиции4 ч. в дистиллированной воде (среда E_0) и растворах ЭМС – 0,1% (E_1) и 0,4% (E_2). После обработки их промывали в проточной воде, просушивали и помещали в чашки Петри, а затем переносили в термостат для проращивания ($t=25^0C$, темнота). Повторность эксперимента – четырехкратная. Ответные реакции генотипов льна-долгунца на действие химического мутагена устанавливали по общему (GP) и среднесуточному проценту проросших семян (MDG), максимальному времени прорастания (MGT), продолжительности прорастания семян (GDT) [5,6].

Обработку экспериментальных данных проводили методом многофакторного дисперсионного анализа с использованием программы STATISTICA 10.0 (StatsoftInc., США). Выявление достоверных различий осуществляли с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты. Одним из показателей биологических свойств семян является их способность к прорастанию, на которую оказывают ряд факторов, в т. ч. и обработка химическими мутагенами [3]. Методом дисперсионного анализа доказаны различия между генотипами ($p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**), средами ($p\leq0,05$*; $p\leq0,01$**), взаимодействием генотипа и среды ($p\leq0,05$*) по изученным показателям. В общей структуре изменчивости тестируемых критериев, высокое долевое участие определялось факторами E (23,5-39,9%) иGxE (19,1-43,5%), при 17,8-25,5% у G соответственно.

Выявлено, что используемые генотипы льна-долгунца неоднозначно реагировали на воздействие данного мутагена, который приводил, как к стимуляции, так и угнетению процессов, что отразилось на показателях скорости и конечного процента проросших семян (рис.).

В среднем, по средовым условиям, процент проросших семян составлял от 89,9±0,11% до 99,8±0,59%. Наибольший положительный эффект среды E_1 отмечали у $Я_{2-3-1}$по проценту проросших семян (+2,4% к E_0), при угнетении у $Я_{2-3-1}$ на 3,3-4,4%. Мутаген используемой концентрации (0,4%) оказал негативное влияние на увеличение продолжительности прорастания семян у $Я_{12-1-9,}$ при этом, данный генотип также имел и более низкий среднесуточный процент проросших семян (MDG), по сравнению, как с контролем (среда E_0), так и $Я_{2-3-1}$, у которого выявлена незначительная($p\geq0,05$) стимуляция по времени (MGT) и продолжительности прорастания (GDT).

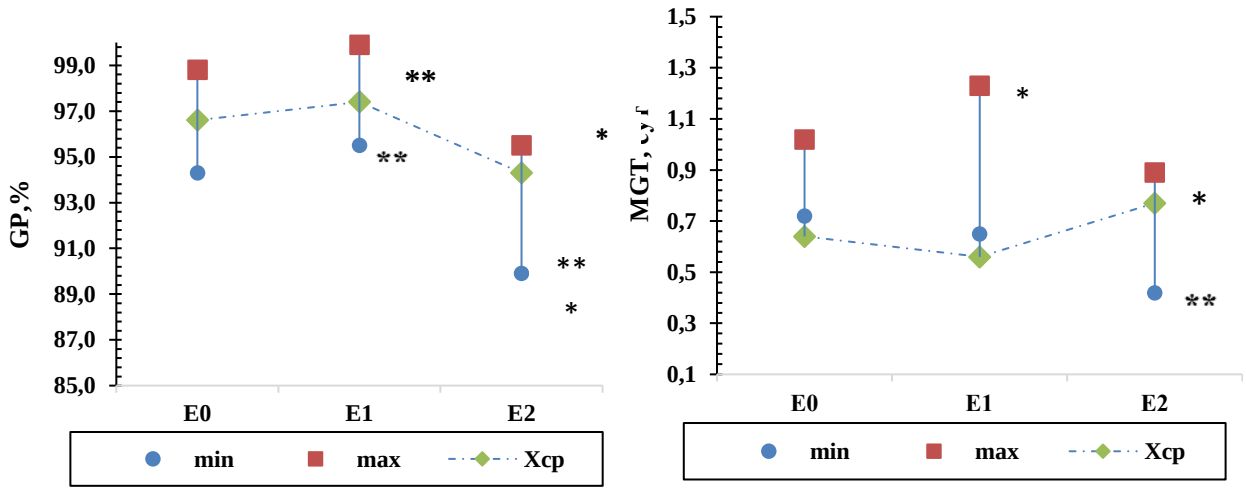


Рисунок. Ответные реакции генотипов льна-долгунца по прорастанию семян при обработке ЭМС, 2024 г. Различия между средами достоверны при $p \leq 0,05$*; $p \leq 0,01$**; $p \leq 0,001$***

Выводы. В результате исследований выявлен достоверный эффект генотипа (G), мутагена (E), взаимодействия генотипа и мутагена (GxE) на тест-критерии, характеризующие прорастание семян льна-долгунца. Выявлено, что большей ответной реакцией к мутагену характеризовалась гибридная линия $Я_{2\text{-}3\text{-}1}$у которой прослеживалась положительная зависимость количества (GP, MDG, %) и интенсивности прорастания семян (MGT, GDT, сут.) от 0,1% воздействия концентрации химического мутагена.

Библиографический список

1. Генетические основы селекции растений: в 4 т. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т генетики и цитологии; науч. ред. А.В. Кильчевский, Л. В. Хотылева. Мн: Беларускаянавука. 2008; 1-551.

2. Купянская, Н.А. Действие химических мутагенов на лен-долгунец / Н.А. Купянская // Селекция, семеноводство и агротехника возделывания льна-долгунца: сб. науч. тр./Всерос. науч.-исслед. ин-т льна. – Торжок, 1978. – Вып.15.– С. 3-5.

3. Королёв, К.П. Индуцированный мутагенез как способ расширения генетического разнообразия и создание нового исходного материала для различных направлений селекционной работы/К.П. Королёв // Проблемы развития АПК региона. 2016. –Т.25. – № 1-1 (25). – С. 130-134.

4. Логинов, М.И. Экспериментальный мутагенез и его роль в создании сортов с высоким качеством волокна/ М. И. Логинов //Материалы Междунар. науч.-практ. конф.– Торжок: ВНИИЛ, 2005. – С.116-122.

5. Kaya, M. D. Salinity tolerance classification of sunflower (*Helianthus annuus* L.) and safflower (*Carthamustinctorius* L.) by cluster and principal component analysis / M. D. Kaya, G.Akdogan, E. G., Kulan, et. al. // Applied Ecology and Environmental Research. – 2019 – Vol. 17(2). – P.3849-3857.

6.Hefny, Y. A. M. Germination parameters of some bread wheat genotypes under drought stress conditions /Y. A. M.Hefny, N. E. Mohamed, A. Abdelraoof, O. et. al. // SVU-International Journal of Agricultural Sciences. – 2020. – Vol. 2(2). – P. 226-241.

УДК 635.655:631.527 (470.322)

ОЦЕНКА ИСХОДНОГО МАТЕРИАЛА СОИ НА ХОЛОДОУСТОЙЧИВОСТЬ В УСЛОВИЯХ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ

Александр Андреевич Тевченков[1], м.н.с. лаборатории селекции и первичного семеноводства сои;
Елена Владимировна Демьяненко[2], к.с.-х.н., доцент кафедры Агрономии
[1]Липецкий научно-исследовательский институт рапса - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», г. Липецк
[2]Калужский филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Калуга

Аннотация. С статье рассмотрены вопросы оценки и выделения холодоустойчивых линий сои, способных формировать стабильные урожаи при ранних и оптимальных сроках посева. Приведены критерии, предъявляемые к холодоустойчивым формам сои, в том числе, на пониженную реакцию на укороченные ранневесенние фотопериоды и стабильную урожайность.

Ключевые слова: соя, ранний посев, оптимальный посев, холодоустойчивость сои.

EVALUATION OF SOYBEAN SOURCE MATERIAL FOR COLD RESISTANCE IN THE LIPETSK REGION

Aleksandr Andreevich Tevchenkov[1], Junior Researcher, Laboratory of Soybean Breeding and Primary Seed Production;
Elena Vladimirovna Demyanenko[2], PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Agronomy
[1]Lipetsk Research Institute of Rapeseed - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center "All-Russian Research Institute of Oil Crops named after V.S. Pustovoit", Lipetsk, Russia
[2]Kaluga branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev", Kaluga, Russia

Abstract. The present article examines the methods of assessment and selection of cold-resistant soybean lines which are able to produce stable yields at early and preferable sowing dates. The criteria for soybean cold-resistant forms have been established, including a mild response to shortened early-spring photoperiods and stable yields.

***Key words*:** soybean, first sowing, preferable sowing, soybean cold resistance.

Соя отличается исключительно ценным химическим составом зерна с точки зрения комплекса полезных компонентов [5]. Она содержит 35-45% высококачественного по аминокислотному составу, растворимости и усвояемости белка; 17-25% высококачественного растительного масла, пригодного для использования в пищевых, кормовых и технических целях; 20-30% углеводных соединений, в том числе 10-12% растворимых сахаров, 5-6% минеральных макро- и микроэлементов, 12 основных витаминов и витаминоподобных соединений [1, 2].

Соя довольно резко реагирует на изменение температуры воздуха и почвы на ранних этапах развития. Понижение температуры ниже пределов биологического минимума приостанавливает процессы роста и развития, хотя и не вызывает их полной гибели. Однако это отрицательно влияет на стабильность формирования урожайности и ее величину, поскольку соя – теплолюбивая культура. В связи с этим наибольшую актуальность представляет создание сортов сои, устойчивых к пониженным температурам, т.к. охлаждение корневой системы нарушает процессы поступления питательных веществ не только в корни, но и в надземные органы. Установление закономерности по степени развития проростков и уровня продуктивности в условиях температурного шока и создание холодостойких образцов данной культуры существенно ускорит процесс создания сортов, отличающихся стабильно высокой продуктивностью в неоптимальных по температурным режимам условиях [3].

В связи с этим наибольшую актуальность для условий лесостепи ЦФО РФ представляет создание сортов сои с повышенной устойчивостью к пониженным температурам на начальных стадиях онтогенеза [4].

Эксперименты проводили в 2022 г. на экспериментальной базе ЛНИИР-филиал ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, г. Липецке. Изучали 30 селекционных линий с повышенной холодоустойчивостью. В качестве холодоустойчивого контроля использовали сорт сои Баргузин, также отличающегося пониженной реакцией на длину дня. Ранний срок посева по идентичной схеме на одном и том же участке выполняли в 3-й декаде апреля – в начале 1-й декады мая. Оптимальный срок посева – середина 2-й декады мая. Делянки 10-рядные, в 3-х повторениях, длиной 10 м каждая. Густота стояний 500 тыс. всхожих семян на гектар. В течение вегетации проводили все необходимые измерения и учеты. Оценку изучаемых сортообразцов на фотопериодическую чувствительность проводили по измерению высоты растений, количеству междоузлий на главном побеге и изменчивости их длин в пределах побега.

Так на фоне сложившихся погодных условий весны и лета 2022 г. из всех изучаемых линий было выделено шесть линий с низкой фотопериодической реакцией на ранневесенние укороченные фотопериоды. Эти же линии по урожайности превышали сорт-стандарт Баргузин при сверхраннем посеве в конце апреля, и формировали более высокую, чем сорт-стандарт, урожайность при посеве в оптимальный срок.

В результате проведенных в полевых условиях 2022 г. исследований, в группе холодоустойчивых линий с пониженной фотопериодической реакцией на укороченную длину дня были выделено шесть линий сои (Д-2524/6, Д-949/20, Д-949/20, Д-933/20, Д-946/20, Д-1584/7). Эти сортообразцы сформировали повышенные, относительно сорта-стандарта Баргузин, показатели. Созревание этих линий при посеве в ранние сроки происходил в 3-й декаде августа, а при посеве в оптимальные сроки во 2–3 декадах сентября.

Таблица 1 – Сравнительная урожайность сортообразцов сои при раннем и оптимальном сроках посева в 2022 г.

№ делянки	Посев в 3-й декаде апреля		Посев в 1-я декаде мая	
	вегетационный период, сут.	урожайность, т/га	вегетационный период, сут.	урожайность, т/га
Баргузин – ст.	115	2,42	123	2,13
Д-2524/6	109	3,76	117	3,30
Д-949/20	109	3,69	117	3,24
Д-949/20	109	3,26	117	2,86
Д-933/20	109	3,30	117	2,91
Д-946/20	109	3,20	117	2,83
Д-1584/7	109	3,13	117	2,75

Из выделенных сортообразцов наибольший интерес представляла линия Д-2524/6, которая при раннем и оптимальном сроках посева обеспечивала прибавку урожайности 1,34 и 1,17 т/га, соответственно, (табл.1).

В условиях раннего срока посева продолжительность вегетационного периода у всех изучаемых сортообразцов модифицировалась пониженными температурами и засухой в этот период, вызвавшими замедленное развитие растений на начальных этапах онтогенеза. Тем не менее, все изучаемые холодоустойчивые линии сои при посеве в ранее сроки успешно созревали в конце августа и в начале сентября. Лучшие линии Д-949/20и Д-2524/6 вполне пригодны для передачи на Государственное сортоиспытание как холодоустойчивые сорта сои с пониженной фотопериодической чувствительностью к ранневесенним укороченным фотопериодам, пригодные для посева в условиях лесостепи ЦФО РФ.

Библиографический список

1. Демьяненко, Е. В. Продуктивность ярового рапса и сои в зависимости от применения гуминовых удобрений и агрометеорологических условий / Е. В. Демьяненко, В. В. Карпачев, Е. И. Сеничев // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – 2023. – Т. 15, № 4. – С. 12-17.

2. Демьяненко, Е. В. Применения современных гуминовых удобрений в посевах сои сорта Георгия в условиях Калужской области / Е. В. Демьяненко // Научные труды по агрономии. – 2022. – № 1. – С. 5-9.

3. Зеленцов, С. В. Обоснование критериев селекционного отбора форм сои с повышенной заморозкоустойчивостью на основе явления криогенной

седиментации цитоколлоидов (обзор) / С. В. Зеленцов, Е. В. Мошненко, Л. А. Бубнова // Масличные культуры. – 2019. – № 2(178). – С. 128-143.

4. Зеленцов, С.В. Повышение эффективности селекции сои с пониженной реакцией на длину дня на примере сорта Липчанка / С. В. Зеленцов, Д. И. Паспеков, Е. В. Мошненко [и др.] // Масличные культуры. – 2024. – № 1(197). – С. 32-39.

5. Тевченков, А. А. Урожайность сортов сои в Центральном Нечерноземье при использовании различных норм внесения регулятора роста / А. А. Тевченков, З. С. Федорова, Е. И. Сеничев // Аграрный вестник Урала. – 2024. – Т. 24, № 1. – С. 22-31.

УДК 633.34

ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТА «УЛЬТРА СИ» НА УРОЖАЙНОСТЬ СОИ

Александр Иванович Манухин, Василий Борисович Троц,
Наталья Михайловна Троц
Самарский государственный аграрный университет, г. Кинель

Аннотация. В статье приводятся результаты полевого опыта по выявлению влияния магний серосодержащего препарата «Ультра Си» на урожайность сои и экономику ее выращивания.

***Ключевые слова*:** соя, зерно, урожай, орошение, удобрения, чернозем.

EFFECT OF ULTRA SI ON SOYBEAN YIELD

Alexander Ivanovich Manukhin, Vasily Borisovich Trots,
Natalia Mikhailovna Trots
Samara State Agrarian University, Kinel, Russia

Annotation. The article presents the results of a field experiment to identify the effect of the magnesium-sulfur-containing drug Ultra Si on soybean yields and the economy of its cultivation.

Keywords: soybeans, grain, harvest, irrigation, fertilizers, chernozem.

Введение. Одной из причин низких урожаев сои в Самарской области является не сбалансированность ее минерального питания и, в частности, недостаточное количество имеющихся в почве запасов магния и серы. По мнению специалистов решить данную проблему можно за счет использования относительно недорогих отходов промышленного производств. Однако этот вопрос мало изучен и требует производственной проверки [1,2].

Цель работы. Выявить влияние магний серосодержащего удобрения «Ультра-Си» на урожайность сои в условиях богары и орошения.

Материалы и методы исследований. Опыты проводились в южной агроклиматической зоне Самарской области на орошаемом участке ООО «Сев07». Почва – чернозём обыкновенный с содержанием гумуса в пахотном горизонте 5,0%, подвижного фосфора - 18,5 мг, а обменного калия - 24,45 мг на 100 г почвы. Мощностью гумусового горизонта до 60-70 см. Схема опыта включала следующие варианты: 1. Контроль (без удобрения); 2. $N_{60}P_{100}K_{100}$ (Фон); 3. Фон + «Ультра-Си» 100 кг/га; 4. Фон + «Ультра-Си» 150 кг/га; 5. Фон + «Ультра-Си» 200 кг/га. Все варианты опыта закладывались как при богаре, так и в условиях орошения. Агротехника в опыте была типичной для сои в данной зоне и базировалась на безотвальной обработке почвы. Предшественником являлась яровая пшеница. Погодные условия в годы

исследований отличались повышенной температурой и дефицитом осадков. ГТК в вегетационный период 2023 года ровнялся 0,42, а в 2024 году – 0,57. Экспериментальная работа проводилась с учетом действующих методик опытного дела [3,4,5]

Результаты исследований. Установлено, что соя сорта Кордоба, при естественном режиме увлажнения и уровне плодородия черноземной почвы, способна формировать в условиях южной агрозоны Самарской области урожаи зерна – на уровне 1,53 т зерна с 1 га. Внесение фонового уровня минерального удобрения $N_{60}P_{100}K_{100}$ увеличивало сбор зерна с 1 га до 1,76 т, или на 15,0%. Обеспечивая дополнительное получение 0,23 т зерна с 1 га. Добавление к внесенному в почву азоту, фосфору и калию еще и магний серо содержащего продукта «Ультра-Си» в норме 100 кг/га (варианты 3) доводит сборы зерна до 1,83 т с 1 га, что на 0,30 т/га, или 19,6 % больше контрольного значения. Дальнейшее увеличение нормы применения «Ультра-Си» – до 150 кг/га (варианты 4) способствовало более лучшей оптимизации минерального питания растении и росту урожайности зерна еще почти на 6,5 % - до 1,97-1,98 т/га, что уже на 28,7 % больше контрольного индекса. Посев с применением «Ультра-Си» в норме 200 кг/га (варианты 5) обеспечивал максимально высокие сборы зерна 2,10 т/га, что на 6,5 % выше значения предыдущих вариантов опыта. Прибавка зерна по отношению к контролю составила 0,57 т/га, или 37,2 %.

Учет полученного зерна в орошаемой части опыта показал, что объем его сборов в среднем на 27,1-37,2% больше, чем в вариантах неорошаемого участка, Однако и в условиях орошения внесение в почву магний серо содержащего препарата «Ультра-Си» на фоновом уровне минерального удобрения ($N_{60}P_{100}K_{100}$) позволяет дополнительно получить около 0,34-0,57 т зерна с 1 га. При этом прибавка урожая в вариантах с применением данного препарата, по отношению к контролю равнялась 16,2-37,1%, против 12,4% - в фоновом варианте с использованием только азота и фосфора.

Экономические расчеты показали, что при условии продажи зерна сои по рыночной цене, складывающейся в осенний период 2023 г и 2024 года (*в 40 тыс. руб. за 1 т.*), можно будет выручить с каждого гектара неорошаемых посевов от 61 200 руб. до 84 400 руб. При условии дополнительного орошения посевов сои стоимость полученной продукции возрастала на 26,5-35,4% и варьировала от 84 000 руб./га до 106 800 руб./га. Экономический анализ показал, что серьезным фактором увеличения количества производимой продукции, а следовательно, и ее стоимости, является внесение минеральных удобрений и магний серо содержащего продукта «Ультра-Си». Уровень рентабельности производства сои в вариантах опыта №3 и № 4 равнялся соответственно 106,2 % и 111,4 %, против 103,1% в контрольном и 105,3 % в фоновом вариантах. Дальнейшее увеличение нормы внесения «Ультра-Си» - до 200 кг/га (варианты 5) обеспечивает рост индекса рентабельности–до 115,8%. Размещение сои на орошаемом участке позволяет существенно увеличить стоимость производимой продукции. Однако возрастают и затраты на ее производство - в среднем на 31,1-38,9%. Но по всем вариантам опыта они

окупаются стоимостью дополнительно полученной продукции. При этом максимальный уровень рентабельности производства отмечался в варианте с внесением препарата «Ультра-Си» в норме 150 кг/га – 115,9% и в норме 200 кг/га – в пределах 113,6%.

Выводы.

1. Внесение в почву магний серо содержащего продукта «Ультра-Си» на фоне применения азота, фосфора и калия в норме $N_{60}P_{100}K_{100}$, достоверно обеспечивает прибавку урожая зерна сои сорта Кордоба в пределах 19,6-37,2%, или 0,30-0,58 т зерна с 1 га при его сборах на уровне 1,83-2,11 т/га.

2. В условиях орошения сборы зерна в опытных вариантах увеличиваются в среднем на 27,1-37,2%. При этом внесение в почву препарата «Ультра-Си» на фоновом уровне позволяет дополнительно получить около 0,34-0,57 т зерна с 1 га. Прибавка урожая, по отношению к контролю составляет 16,2-37,1%.

3. Внесение на фоновом уровне $N_{60}P_{100}K_{100}$ магний серо содержащего продукта «Ультра-Си» в посевах сои размещенных в южной зоне Самарской области как на богаре, так и при искусственном дождевании, экономически оправдано и позволяет получить максимальный условно чистый доход с уровнем рентабельности производства 106,2-122,1%. При этом «Ультра-Си» экономически наиболее целесообразно применять в норме 200 кг/га.

Библиографический список

1. Троц В.Б., Троц Н.М., Манухин А.И. Использование промышленных отходов в качестве удобрения на черноземных почвах Самарской области // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: Материалы Национальной научно-практической конференции. - Рязань, 2023. - С. 155-162.

2. Троц В.Б., Троц Н.М. Приемы поддержания баланса гумуса в севооборотах АО «Нива» Ставропольского района Самарской области // Актуальные вопросы агрономии. Материалы Национальной научно практической конференции. - Ижевск, 2023. – С. 144-152.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5 изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

4. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями / ВАСХНИЛ, ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова. - М.: ВИУА, 1983. - 22 с.

5. Методические требования к полевому опыту. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https: //poznayka.org/s65985t2.html (дата обращения 12.05.2023 г.).

УДК 633.853.74

СЕЛЕКЦИЯ КУНЖУТА ИНДИЙСКОГО НА НЕОСЫПАЕМОСТЬ СЕМЯН

Нина Семеновна Чавдарь[1,2], к.с.-х.н., доцент,
Александр Дмитриевич Рущук[1], к.б.н., доцент
[1]Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко
[2]Республиканский ботанический сад, г. Тирасполь

Аннотация. Кунжут индийский характеризуется продолжительным периодом образования генеративных органов. На кустах одновременно находятся коробочки в различной фазе развития, открытые цветки и бутоны. Цветение кунжута в условиях Приднестровья начинается в основном в июле и заканчивается с наступлением низких положительных температур и осенних заморозков. Созревание коробочек у высокорослых генотипов начинается в конце августа - сентябре. Таким образом, коробочки, созревшие первыми, находятся на растениях до уборки продолжительное время, 60 – 90 суток, что увеличивает риск осыпания семян. В статье описан признак кунжута индийского, уменьшающий осыпаемость семян – это их слипание, которое уменьшает потери в 4 раза по сравнению с рассыпчатыми семенами, увеличивая хозяйственную урожайность.

Ключевые слова: кунжут индийский, осыпаемость семян, слипание семян, биологическая и хозяйственная урожайность.

SELECTION OF INDIAN SESAME FOR SEED NON-SPILLAGE

Nina Semenovna Chavdar[1, 2], Alexander Dmitrievich Rushchuk[1]
[1]Pridnestrovian State University named after T.G. Shevchenko
[2]Republican Botanical Garden, Tiraspol

Abstract. Indian sesame is characterized by a long period of generative organ formation. The bushes simultaneously bear pods in various stages of development, open flowers, and buds. Sesame flowering in *Pridnestrovie* mainly begins in July and ends with the onset of low positive temperatures and autumn frosts. The ripening of capsules in tall genotypes begins in late August-September. Thus, the capsules that ripen first remain on the plants for a long time, 60-90 days, before harvesting, which increases the risk of seed shedding. The article describes a characteristic of Indian sesame that reduces seed shedding: the seeds stick together, which reduces losses by 4 times compared to loose seeds, increasing economic yield.

Key words: Indian sesame, seed shedding, seed sticking, biological and economic yield.

Введение. Приднестровье характеризуется умеренно-континентальным климатом с короткой тёплой малоснежной зимой, продолжительным жарким летом и небольшим количеством осадков. Среднегодовая температура воздуха всей территории республики положительная и составляет +10 °С.

Наблюдается рост температуры воздуха с тенденцией на 0,18°С за 10 лет, за 70-летний период, рост средней годовой температуры воздуха по югу Приднестровья составил 1,2-1,3°С. На поверхности почвы оголенного участка наблюдалась максимальная температура +71°С в 2007 году. Начиная с 2010 г, по югу Приднестровья количество осадков имеет тенденцию к уменьшению их выпадения. По Слободзейскому району, являющемуся основной житницей Приднестровья, с 2000 по 2016 гг. с апреля по ноябрь и в целом за весь период, выявлено уменьшение влагозапасов в метровом слое почвы по исследуемым участкам с тенденцией 1,3 мм за год.

За исследуемый 16-летний период средний показатель влагозапасов упал на 20 мм в метровом слое почвы. Климатические условия юга Приднестровья становятся более засушливыми [1, 2].

В Приднестровской Молдавской Республике в 2007, 2020, 2022 гг. наблюдалась сильнейшая засуха [3].

Глобальное потепление климата, наблюдающееся в последние годы в том числе и в Приднестровье, требует нового подхода в стратегии развития сельского хозяйства.

Эти обстоятельства обусловливают актуальность проведения селекционной работы с более теплолюбивыми и жаростойкими культурами, как, например, кунжут.

Кунжут (*Sesamum indicum L.*) - одна из высокомасличных культур, которая ранее не возделывалась на территории Молдавии и Приднестровья, является интродуцентом. Его семена в целом виде широко используют в пищевой промышленности Приднестровья исключительно в виде импортного сырья на хлебных заводах Приднестровья, при изготовлении кондитерских изделий частными фирмами.

Аридизация климата и широкое использование семян кунжута индийского в пищевой промышленности и медицинских целях, обусловливают актуальность проведения селекционной работы с целью создания высокоурожайных сортов культуры тропического происхождения, пригодных для возделывания в Приднестровье.

Цель работы: определить величину потерь семян кунжута, установить признак у растений кунжута, способствующий неосыпаемости семян.

Материалы и методы. В качестве исходного материала для исследований использовали линии, созданные методом физического мутагенеза, гибридизации и многократного индивидуального отбора.

Схема посева (90 х 20) см., площадь делянки 2,7 м^2. Посев проводили в апреле-начале мая. В опыте проводили фенологические и биометрические наблюдения, учет продуктивности растений.

Для учета потерь семян кунжута у генотипов перед уборкой аккуратно снимали с каждого растения по 20 коробочек, созревших первыми.

В коробочках кунжута видны места нахождения семян – ячейки (рис. 1).

Рисунок 1. Раскрытые двухплодолистиковые коробочки кунжута. Видны ячейки для семян (фото Н.С. Чавдарь)

Далее учитывали количество ячеек в коробочках и количество выбитых из них семян.

Расчет потерь семян проводили по формуле:

$$\text{Потери семян (\%)} = \frac{N - n}{N} \text{ x } 100, \text{ где}$$

N - количество ячеек для семян в коробочках, шт.;

n - количество выбитых семян, шт.

Результаты. Кунжут индийский - в Приднестровье однолетнее растение, достигающее высоты 1,0 – 1,7 м, иногда до 2 м и более.

Рисунок 2. Кунжут перед началом созревания (фото Н.С. Чавдарь)

Стебель прямой, образует от 4-5 до 10-12 побегов первого порядка, особенно при широкорядных способах посева. Имеются формы, у которых главный побег не развит, ветвится до второго и более порядков (рис. 2, 3).

Рисунок 3. Кунжут индийский в Приднестровье в начале созревания (фото Н.С. Чавдарь)

Кунжут индийский характеризуется как теплолюбивое, засухоустойчивое, хотя отзывчивое на орошение, жаростойкое растение.

В зависимости от климатических условий и сортовых особенностей число дней от всходов до созревания в условиях Приднестровья колеблется.

Цветение кунжутного растения идет снизу вверх и продолжается до наступления заморозков. При наступлении цветения каждый день одновременно на побегах, главном и боковых, открываются по два-три цветка. Например, цветение кунжута сорта Мулатка в условиях Приднестровья начиналось в основном с середины июля (табл. 1).

Таблица 1 – Даты наступления фенологических фаз развития у кунжута индийского сорта Мулатка, г. Тирасполь

Год	Даты наступления фенологических фаз			
	Всходы	Бутонизация	Цветение	Созревание семян
2011	24.05	20.07	03.08	03.10
2012	10.05	25.06	07.07	27.08
2013	29.05	14.07	21.07	10.10
2015	12.05	02.07	15.07	30.09
2017	23.05	05.07	17.07	18.09
2018	10.05	25.06	09.07	24.09
2019	31.05	28.06	16.07	19.09
2020	22.06	29.07	10.08	03.10
2021	17.05	01.07	15.07	27.09
2022	31.05	17.07	29.07	07.09
2024	02.05	13.07	23.07	13.09

Таблица 2 – Продолжительность фенологических фаз развития и длина вегетационного периода кунжута индийского, сут

Год	Продолжительность фенофазы:			Длина вегетационного периода (всходы – созревание)
	Всходы - бутонизация	Бутонизация - цветение	Цветение - созревание семян	
2011	57	13	61	131
2012	46	12	51	109
2013	46	7	81	134
2015	51	13	77	141
2017	43	12	63	118
2018	46	14	77	137
2019	28	18	65	111
2020	37	12	54	103
2021	45	14	74	133
2022	47	12	40	99
2024	72	10	51	133

Длина фенологических фаз развития в зависимости от особенностей климатических условий года колебалась значительно. Число суток от всходов до бутонизации варьировало от 28 до 72; от бутонизации до цветения – от 7 до 18, в основном около двух недель; от цветения до созревания семян – от 40 до 81. Длина вегетационного периода, от входов до созревания семян, за годы наблюдений варьировала от 99 до 141 суток (табл. 2).

Начало созревания семян сорта Мулатка в условиях Приднестровья приходилось в основном на сентябрь месяц, а уборка проводилась в октябре – начале ноября. Это обусловлено неодновременным созреванием коробочек на растениях, что связано с морфологией растений и характером их цветения (рис. 2, 3).

Одна из основных проблем, с которой сталкиваются производители семян кунжута, является их осыпаемость, приводящая к снижению хозяйственной урожайности. Неодновременное цветение, а соответственно, и неодновременное созревание коробочек, приводит к тому, что на растениях нижние коробочки, которые созревают первыми, находятся на растениях до уборки длительное время, иногда до двух и более месяцев. Это обстоятельство приводит к потере семян по различным причинам.

Плод кунжута – плоская, удлиненная коробочка, состоящая из двух или четырех плодолистиков, которые, загибаясь внутрь, образуют ложные перегородки. При созревании коробочки у большинства генотипов растрескиваются. В каждой коробочке по 70 - 80 семян, располагающихся вертикальными рядами («стопочками») (четыре ряда – у двухплодолистиковых, или восемь рядов – у четырехплодолистиковых).

Зрелые коробочки раскрываются продольными створками, и семена легко высыпаются, особенно при плохой развитости ложных перегородок, или практическом их отсутствии.

При изучении большого количества различных образцов кунжута было замечено, что при выбивании семян из созревших коробочек семена высыпаются рассыпчатые или слипшиеся в стопочки (рис. 4, 5).

Рисунок 4. Генотипы с рассыпчатыми семенами (фото Н.С. Чавдарь)

Рисунок 5. Генотипы с семенами, слипшимися в стопочки (фото Н.С. Чавдарь)

Анализ потерь семян кунжута при их созревании в зависимости от характера формирования стопочек в плодолистиках показал, что процент потери семян, слипшихся в стопочки в 4 раза меньше, чем не слипшихся (табл. 3). Слипшиеся в стопочки семена кунжута незначительно высыпаются из плодолистиков даже при сильном растрескивании коробочек.

Таблица 3 – Потери семян кунжута при их созревании в зависимости от характера высыпания семян из коробочек

Характер высыпания семян из коробочки	Количество ячеек для семян в коробочке, шт.	Количество семян в коробочке, шт.	Процент сохранившихся семян, %	Потери семян, %
Не слипшиеся	72,4	47,1	65,1	34,9
Слипшиеся (стопочки)	78,2	67,4	91,1	8,9

Выводы:

1. Селекция сортов кунжута индийского для условий Приднестровья является актуальной в связи с потеплением климата, широким использованием в пищевой промышленности и медицинских целях.

2. Одна из самых важных проблем при выращивании кунжута - это осыпаемость семян, связанная с особенностями строения растений, коробочек, характером высыпания семян.

3. Цветение кунжута индийского в условиях Приднестровья наступает в середине - конце июля, начало созревания - в середине - конце сентября. При этом цветение продолжается и заканчивается только с наступлением низких положительных температур, или осенних заморозков. Уборка в наших условиях проводится в октябре. Поэтому коробочки, созревшие первыми, находятся на растениях 1,5 -2,0 месяца, что влияет на степень высыпания семян.

4. Одним из признаков, снижающий уровень осыпаемости семян кунжута, является высыпание семян из коробочек, слипшихся в стопочки. По результатам исследований потери семян у генотипов со слипшимися семенами примерно в 4 раза меньше по сравнению с не слипшимися (рассыпчатыми). В селекции кунжута на неосыпаемость семян необходимо обращать внимание на этот признак, повышающий хозяйственную урожайность.

Библиографический список

1. Кольвенко, В.В. Влияние изменения температуры воздуха и осадков на почвенные влагозапасы юга Приднестровья за последние 15 лет./ В.В. Кольвенко, Л.А.Ершов, Т.А. Баца, А.В. Никашкин/ Продовольственная и пищевая безопасность Приднестровья: материалы науч.-практ. конф. 30 ноября 2017 г.- Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2018.- С.39 – 45.

2. Кольвенко, В.В. Исследование температуры почвы с 0,2 м до 3,2 м по данным метеостанции г. Тирасполь за последние 20 лет./ Продовольственная и пищевая безопасность Приднестровья: материалы науч.-практ. конф. 30 ноября 2017 г.- Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2018.- С.46-52.

3. https://md.tsargrad.tv/news/v-pridnestrove-zafiksirovan-samyj-suhoj-ijul-v-istorii_592048 (дата обращения 10 июня 2025 г.).

УДК 632.94:632.937.1

ОЦЕНКА ГЕНЕТИЧЕСКОЙ КОЛЛЕКЦИИ ТОМАТА ФГБНУ ФНЦБЗР НА УСТОЙЧИВОСТЬ К СЕВЕРНОЙ ГАЛЛОВОЙ НЕМАТОДЕ MELOIDOGYNE HAPLA

Светлана Николаевна Нековаль, к.б.н.,
Жаннета Зауровна Тухужева, Арина Константиновна Чурикова
ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», г. Краснодар

Аннотация. Галловые нематоды *Meloidogyne hapla* представляют серьёзную угрозу для томатов в условиях защищённого грунта, особенно при отсутствии разрешённых химических нематицидов. В исследовании проведена комплексная оценка устойчивости 41 генотипа томата, включая сорта, гибриды и мутантные линии из коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР. На основе фенотипических признаков образцы классифицированы по уровню устойчивости, а также проанализированы биохимические показатели (витамин С, кислотность). Молекулярный скрининг выявил наличие гена Mi-1.2 у пяти устойчивых генотипов. Кроме того, были выявлены устойчивые к *M. hapla* сорта, не имевшие маркера Mi-1.2, что указывает на существование альтернативных механизмов защиты.

Ключевые слова: томат, *Meloidogynehapla*, устойчивость, витамин С, молекулярный скрининг, Mi-1.2, защищенный грунт.

EVALUATION OF THE TOMATO GENETIC COLLECTION OF THE FSBSI FEDERAL RESEARCH CENTRE OF BIOLOGICAL PLANT PROTECTION FOR RESISTANCE TO THE NORTHERN ROOT-KNOT NEMATODE MELOIDOGYNE HAPLA

Svetlana Nikolaevna Nekoval,
Zhanneta Zaurovna Tukhuzheva, Arina Konstantinovna Churikova
Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Biological Plant Protection», Krasnodar, Russia

Abstract. Root-knot nematodes (*Meloidogyne hapla*) pose a serious threat to tomatoes grown under protected conditions, especially in the absence of approved chemical nematicides. This study presents a comprehensive evaluation of resistance in 41 tomato genotypes, including cultivars, hybrids, and mutant lines from the FSBSI FRCBPP collection. Based on phenotypic traits, the genotypes were classified according to their resistance level, and biochemical parameters (vitamin C content and acidity) were also analyzed. Molecular screening revealed the presence of the Mi-1.2 gene in five resistant genotypes. In addition, several genotypes resistant to *M.*

hapla were identified that lacked the Mi-1.2 marker, suggesting the existence of alternative mechanisms of resistance.

Key words: tomato, *Meloidogyne hapla,* resistance, vitamin C, molecular screening, Mi-1.2, protected cultivation.

Галловые нематоды рода *Meloidogyne* представляют собой одну из наиболее вредоносных групп почвенных фитопаразитов. В условиях защищенного грунта особенно опасен вид *Meloidogynehapla*, вызывающий значительное поражение корневой системы и снижение продуктивности растений. Сегодня в Российской Федерации не существует утвержденных химических нематицидов, разрешенных для применения на томатах, что делает невозможным традиционную химическую защиту. Биологические средства представлены крайне ограниченно. В этих условиях ключевым методом эффективной борьбы остаётся внедрение устойчивых сортов и линий томата.

Цель нашего исследования – выявить устойчивые к *Meloidogynehapla* генотипы томатов с помощью комплексного подхода.

В нашей работе в качестве объектов были использованы 20 сортов и гибридов томата, а также 21 мутантная линия из коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР. Каждая линия была представлена как заражённым, так и незаражённым вариантом. Контрольными служили: устойчивый и восприимчивый генотипы [1]. Все растения выращивались в стандартных 5-литровых горшках, общее количество растений составило 246 экземпляров. Через 10 дней каждое растение инокулировали суспензией *Meloidogynehapla*, содержащей 500 личинок второго возраста (J2) [1]. Популяция *M. hapla* была получена из лабораторной коллекции и идентифицирована методом секвенирования по Сэнгеру [2].

В результате анализа удалось классифицировать образцы на четыре группы генотипов по степени устойчивости (иммунные, устойчивые, умеренно устойчивые, восприимчивые). Наиболее ценной группой стали иммунные формы. У этих образцов не наблюдалось образования галлов даже после заражения, что свидетельствует о полном подавлении нематод и о реализации одного или нескольких эффективных механизмов устойчивости. Устойчивые и умеренно устойчивые генотипы демонстрировали ограниченное образование галлов без значительного нарушения структуры корней. В то же время у восприимчивых растений наблюдалось интенсивное образование галлов, охватывающее почти всю корневую систему. После оценки фенотипической устойчивости мы перешли к анализу биохимических показателей. В восприимчивых к заболеванию растениях содержание витамина С заметно снижалось после заражения. В то же время у устойчивых и иммунных генотипов уровень витамина С оставался практически на уровне контроля. По показателю кислотности у всех заражённых растений наблюдалось небольшое повышение, но различий между устойчивыми и неустойчивыми сортами не было.

Следующим этапом работы стал молекулярный скрининг исследуемых генотипов на наличие гена Mi-1.2. Мы провели ПЦР-анализ ДНК 41 генотипа – как сортов, так и мутантных линий. По результатам скрининга, положительная амплификация была зафиксирована у 5 генотипов: четырёх мутантных линий и одного сорта. Все эти образцы продемонстрировали фенотипическую устойчивость к *M. hapla*. Подтвердив то, что Mi-1.2 может принимать участие в защите растений. Также стоить отметить тот факт, что некоторые сорта, не имевшие маркера Mi-1.2, также проявили полную устойчивость к нематодам. Это говорит о том, что наличие Mi-1.2 не является обязательным условием устойчивости к *M. hapla*.

Таким образом, полученные данные указывают на сложную природу устойчивости, и подчёркивают важность дальнейших исследований в этом направлении – в том числе для поиска новых молекулярных маркеров, специфичных для *M. hapla*.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2024-0001.

Библиографический список

1. Primary Screening of Microorganisms against *Meloidogyne hapla* (Chitwood, 1949) under the Conditions of Laboratory and Vegetative Tests on Tomato / S. N. Nekoval, A. K. Churikova, M. N. Chernyakovich, M. V. Pridannikov // Plants. – 2023. – Vol. 12, No. 18. – P. 3323. – DOI 10.3390/plants12183323.

2. Screening of Mutant Lines and Varieties/Hybrids of Tomato (*Solanum lycopersicum*) for Resistance to the Northern Root-Knot Nematode *Meloidogyne hapla* / S. N. Nekoval, Z. Z. Tukhuzheva, A. K. Churikova, V. V. Ivanov, O. A. Maskalenko // Horticulturae. – 2025. – Vol. 11, No. 7. – P. 798. – DOI 10.3390/horticulturae11070798.

УДК 632.9:579.64

ПЕРВИЧНАЯ ОЦЕНКА МИКРООРГАНИЗМОВ В БОРЬБЕ С MELOIDOGYNE HAPLA В УСЛОВИЯХ *IN VITRO* И *IN VIVO* НА ТОМАТЕ

Арина Константиновна Чурикова, н.с.,
Светлана Николаевна Нековаль, в.н.с., к.б.н., заведующий лабораторией
ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», г. Краснодар

Аннотация. Методом ПЦР идентифицированы *Meloidogyne hapla* и *M. incognita* как основные виды галловых нематод на томате юга России. Лабораторный скрининг выявил нематицидную активность штаммов *Paecilomyces lilacinus* БК-6 (100%) и *Metarhizium anisopliae* БК-2 (70,2%) против *J2 M. hapla*, превышающую стандарт на 38,4% и 8,8%. В вегетационных испытаниях штаммы *P. lilacinus* БК-6, *M. anisopliae* БК-2 и *Arthrobotrys conoides* БК-8 снизили количество галлов на 81,0%, 75,5% и 74,4%.

Ключевые слова: микроорганизмы; галловые нематоды; *Meloidogyne hapla*; нематицидная активность; галлы; томат.

PRIMARY EVALUATION OF MICROORGANISMS FOR CONTROLLING MELOIDOGYNE HAPLA IN *IN VITRO* AND *IN VIVO* CONDITIONS ON TOMATO

Arina Konstantinovna Churikova, research associate,
Svetlana Nikolaevna Nekoval, PhD in Biology, senior researcher, head of laboratory
Federal Research Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russia

Abstract. Molecular-genetic identification confirmed *Meloidogyne hapla* and *M. incognita* as the primary root-knot nematode species affecting tomatoes in southern Russia. Laboratory screening revealed nematicidal activity of *Paecilomyces lilacinus* BK-6 (100%) and *Metarhizium anisopliae* BK-2 (70.2%) against *M. hapla J2* juveniles, surpassing the biological standard by 38.4% and 8.8%, respectively. In vegetative trials, *P. lilacinus* BK-6, *M. anisopliae* BK-2, and *Arthrobotrys conoides* BK-8 reduced gall formation by 81.0%, 75.5%, and 74.4%, respectively.

Keywords: microorganisms, root-knot nematodes, *Meloidogyne hapla*, nematicidal activity, galls, tomato.

Введение. Галловые нематоды рода *Meloidogyne* являются одними из наиболее опасных фитопаразитов в агроценозах, существенно влияя на рост, развитие и продуктивность овощных культур. Среди них *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949 (северная галловая нематода) представляет собой особенно вредоносный вид в условиях умеренного климата, включая южные регионы

России. Этот фитопаразит поражает широкий спектр сельскохозяйственных растений, включая томат (*Solanum lycopersicum* L.), вызывая существенные экономические потери [1].

Химические нематициды, включая фумиганты и нефумиганты (например, оксамил, флуопирам, флуенсульфон), эффективны против галловых нематод (*Meloidogyne* spp.), но обладают высокой токсичностью, вызывая деградацию почвы, загрязнение окружающей среды и угрозу здоровью человека [2].

Биологический контроль с использованием антагонистических микроорганизмов является экологически безопасной альтернативой, обеспечивающей снижение численности нематод и стимуляцию роста растений. Перспективность биологических методов подтверждена эффективностью более 50 бионематицидов, применяемых в мире, и необходимостью разработки новых препаратов в России, где зарегистрирован лишь один бионематицид (Нематофагин-Микопро, П) [3].

Цель исследования – определение видового состава галловых нематод (*Meloidogyne* spp.), поражающих томаты на юге России, и оценка нематицидной активности и эффективности антагонистических штаммов грибов и бактерий против доминирующего вида нематод в лабораторных и вегетационных условиях.

Материалы и методы. Место проведения: лаборатория биорациональных средств и технологий защиты растений для ведения экологизированного, ресурсосберегающего и органического сельского хозяйства ФГБНУ ФНЦБЗР, г. Краснодар, Россия.

Идентификация нематод: ПЦР-анализ 5 популяций *Meloidogyne* spp. из Ростовской, Волгоградской областей, Краснодарского края и Дагестана с использованием праймеров; секвенирование по Сэнгеру, анализ в MEGA 11.

Образцы: суспензия ювенильных особей (*J2*) *M. hapla*, полученная из яиц, выделенных из корней томата; жидкие культуры штаммов из коллекции ООО «Биотехагро», стандарт – Нематофагин-Микопро, П.

Лабораторный скрининг: тестирование нематицидной активности штаммов против *J2 M. hapla* в чашках Петри, подсчет погибших нематод через 24 ч., 48 ч. и 72 ч.

Вегетационные испытания: обработка почвы жидкими культурами, заражение *M. hapla*, высадка томата (восприимчивая мутантная линия Mo 463), подсчет галлов через 180 сут. по формуле Abbott.

С помощью статистического пакета Statistica 10 и с использованием стандартных методов в Microsoft Office Excel 2007 проводили обработку результатов опыта. Все данные представляли как среднее значение трёх повторов ± стандартное отклонение (SD). Различия считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$[3].

Результаты. Фитосанитарный мониторинг в Ростовской, Волгоградской областях, Краснодарском крае и Республике Дагестан позволил выделить пять популяций галловых нематод (*Meloidogyne* spp.), идентифицированных методом ПЦР как *Meloidogyne hapla* (образцы M_hapla_1-4) и *Meloidogyne*

incognita (M_incognita_1). Сравнение с последовательностями GenBank подтвердило высокую видовую специфичность: генетическая дистанция между образцами *M. hapla* менее 0,0014, а между *M. hapla* и другими видами (*M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*) – более 0,14.

Лабораторный скрининг семи жидких культур микроорганизмов показал снижение подвижности и смертность *J2 M. Hapla in vitro* через 24 ч. во всех вариантах, кроме контроля.

Штаммы *Paecilomyces lilacinus* БК-6 и *Metarhizium anisopliae* БК-2 обеспечили смертность на 45,0% и 5,0% выше биологического стандарта (Нематофагин-Микопро, П) через 24 ч.

Через 48 ч. смертность *J2* при применении *P. Lilacinus* БК-6 достигла 98,3% (+49,1% к стандарту), *M. Anisopliae* БК-2 – на уровне стандарта, *A. conoides* БК-8 – ниже на 1,7%.

К 72 ч. штаммы *P. lilacinus* БК-6 и *M. Anisopliae* БК-2 показали наивысшую нематицидную активность: 100% и 70,2% смертности, превышая стандарт на 38,4% и 8,8% соответственно.

Биологическую эффективность микроорганизмов и стандарта (Нематофагин-Микопро, П) оценивали в вегетационных горшках (5 л) на восприимчивой линии томата Мо 463, заражённой *M. hapla*.

В контроле без обработки среднее количество галлов составило 98,3 шт. на растение. Обработка почвы жидкими культурами снизила количество галлов на 36,8-82,0%. Наивысшая эффективность: *P. lilacinus* БК-6 – 81,2% (близко к стандарту 82,0%), *M. anisopliae* БК-2 – 75,7%, *A. conoides* БК-8 –74,5%.

Выводы. Штаммы *Paecilomyces lilacinus* БК-6, *Metarhizium anisopliae* БК-2 и *Arthrobotrys conoides* БК-8 продемонстрировали высокую нематицидную активность против *J2 Meloidogy nehapla* и значительно снизили количество галлов на корнях восприимчивой мутантной линии томата (Мо 463).

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2024-0001.

Библиографический список

1. Nekoval S. N. et al. Microorganism Strains, Environmentally Friendly and Biological Preparations Against *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949 and Their Impact on Fruit Quality and Tomato Crop Structure //Microorganisms. – 2024. – Т. 12. – №. 12. – С. 2586.

2. Oka Y. From old-generation to next-generation nematicides //Agronomy. – 2020. – Т. 10. – №. 9. – С. 1387.

3. Nekoval S. N. et al. Primary screening of microorganisms against Meloidogyne hapla (Chitwood, 1949) under the conditions of laboratory and vegetative tests on tomato //Plants. – 2023. – Т. 12. – №. 18. – С. 3323.

УДК 635.64:577.21:631.527:632.4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ МАРКЕРА АЛЛЕЛИ TM2 У КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ТОМАТА

Тухужева Жаннета Зауровна, лаб. исслед.,
Нековаль Светлана Николаевна, к.б.н., Иванов Валентин Валентинович, м.н.с.
ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», г. Краснодар

Аннотация: Проведён молекулярный скрининг коллекции томата (*Solanum lycopersicum*), направленный на выявление генотипов, потенциально обладающих устойчивостью к вирусу мозаики томата (Tomato mosaic virus, ToMV). Объектом исследования стали 102 образца (сорта, гибриды, мутантные линии и дикие формы) из коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР. Для идентификации аллели *Tm2* применялся CAPS-маркер. В результате у 13 образцов был зафиксирован специфический рестрикционный профиль, свидетельствующий о присутствии маркера Tm2. В данную группу вошли 7 мутантных линий, 4 дикорастущих образца и 2 гибридных сорта. Полученные результаты демонстрируют высокую диагностическую ценность метода и указывают на наличие в коллекции форм, которые могут служить источниками устойчивости к ToMV. Отобранные генотипы представляют интерес для последующего фитопатологического тестирования и могут быть использованы как исходный материал в селекционных программах.

Ключевые слова: *Solanum lycopersicum,* ToMV, CAPS-маркер, аллель *Tm2*, устойчивость, молекулярный скрининг, селекция.

DETECTION OF THE TM2 ALLELE MARKER IN TOMATO COLLECTION ACCESSIONS

Zhanneta Z. Tukhuzheva, Research Assistant;
Svetlana N. Nekoval, PhD (Biol. Sci.), Valentin V. Ivanov, Junior Researcher
Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Center for Biological Plant Protection”, Krasnodar, Russia

Abstract. A molecular screening of a tomato (*Solanum lycopersicum*) collection was conducted to identify genotypes potentially resistant to *Tomato mosaic virus* (ToMV). A total of 102 accessions (cultivars, hybrids, mutant lines, and wild forms) were analyzed using a CAPS marker for the *Tm2* allele. Thirteen accessions displayed a specific restriction profile, indicating the presence of the Tm2 marker. This group included 7 mutant lines, 4 wild accessions, and 2 hybrid cultivars. The results demonstrate the high diagnostic value of the applied method and confirm the presence of forms that may serve as potential sources of resistance. The identified

genotypes require further phytopathological validation and may serve as valuable material for breeding programs aimed at developing ToMV-resistant cultivars.

Key words: *Solanum lycopersicum*, ToMV, CAPS marker, Tm2 allele, resistance, molecular screening, breeding.

Введение. *Tomato mosaic virus (ToMV*), относится к роду *Tobamo virus* и характеризуется устойчивостью во внешней среде и широким ареалом распространения. Инфицируя паслёновые культуры, вирус провоцирует появление хлорозов, мозаичной окраски и морфологических нарушений листьев и плодов; при отсутствии генетической защиты это приводит к потерям урожая, достигающим 40 % [1,2]. В тепличных хозяйствах основным способом передачи вируса является механический контакт, в том числе при проведении агротехнических приёмов. В последние годы на территории Российской Федерации отмечается увеличение фитосанитарной значимости ToMV, что во многом обусловлено завозом более агрессивных штаммов с посадочным материалом [3].

Ключевыми элементами генетической защиты томата от ToMV являются гены *Tm1, Tm2 и Tm2²,*интрогрессированные в культурные формы из диких родственников (*S. peruvianum, S. habrochaites*). Аллель *Tm2* распознаёт белок движения вируса и инициирует иммунный ответ по механизму «ген-за-ген», сопровождающийся локализованной гиперчувствительной реакцией (HR) [2].

Для выявления и отбора носителей устойчивых аллелей широко используют методы молекулярной диагностики, включая CAPS-маркеры (CleavedAmplified Polymorphic Sequences), основанные на рестрикционном анализе амплифицированных ПЦР-фрагментов геномной ДНК с применением специфических праймеров [3].

Цель работы. Идентифицировать образцы томата, содержащие маркер устойчивой аллели *Tm2*, с использованием CAPS-маркерного анализа. Для работы было проанализировано 102 генотипа томата (сорта, гибриды, мутантные линии и дикие формы) из генетической коллекции ФГБНУ ФНЦБЗР, созданной ранее академиком Александром Александровичем Жученко.

Материалы и методы. ДНК выделяли из семян с применением стандартного буферного метода с использованием CTAB. Амплификация проводилась с использованием пары праймеров, обеспечивающих специфическое выявление фрагмента гена *Tm2* длиной ~700 п.н. Рестрикционный анализ выполняли с применением фермента HpaI, расщепляющего ампликон только в случае наличия устойчивой аллели [3].

Результаты. В результате проведённого молекулярного скрининга у 13 образцов томата был выявлен полиморфизм гена *Tm2* свойственный анализируемой аллели. Данная группа включала 7 мутантных линий, 4 образца дикорастущих форм и 2 гибридных сорта. Полученные данные подтверждают высокую диагностическую ценность примененного CAPS-маркера и свидетельствуют о присутствии устойчивых генотипов в исследуемой

коллекции. Выявленные образцы представляют интерес в качестве исходного материала для селекционных программ, направленных на создание сортов томата с устойчивостью к *Tomato mosaic virus* (ToMV).

Заключение. Наличие в исследованной выборке культурных сортов, диких форм и мутантных линий подчёркивает ценность генетической коллекции томата ФГБНУ ФНЦБЗР как источника доноров устойчивости. Результаты показали высокую эффективность применённого CAPS-маркера для ранней идентификации резистентных генотипов, что делает их перспективными для селекционных программ и пирамидирования R-генов.

На следующем этапе планируется фитопатологическая верификация выделенных образцов методом контролируемого искусственного заражения ToMV для сопоставления данных молекулярной диагностики с фактической устойчивостью. В дальнейшем скрининг будет расширен на маркеры других патогенов томата: ToMV (Tm1, Tm2²), TYLCV (Ty-1, Ty-2), TSWV (Sw5) и ToBRFV (ген-кандидат RGA1).

Выводы. Молекулярный скрининг генетической коллекции томата ФГБНУ ФНЦБЗР выявил наличие образцов, потенциально несущих аллель устойчивости *Tm2*, что подтверждает эффективность CAPS-маркера для предварительной генетической диагностики. Результаты исследования формируют основу для последующей фитопатологической верификации и использования выявленных генотипов в селекционных программах, направленных на создание сортов томата с комплексной и долговременной устойчивостью к вирусным патогенам.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2024-0001.

Библиографический список

1. Shi A. etal. Molecular markers for Tm-2 alleles of tomato mosaic virus resistance in tomato // Am. J. Plant Sci. 2011. V. 2. P. 180-189.

2. Ishibashi K., Ishikawa M. Mechanisms of tomato mosaic virus RNA replication and its inhibition by the host resistance factor Tm-1 // Curr. Opin. Virol. 2014. V. 9. P. 8-13.

3. Hanssen I.M. et al. Emerging viral diseases of tomato crops // Mol. Plant-MicrobeInteract. 2010. V. 23(5). P. 539-548.

УДК 632.937/635-2

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ИНСЕТИМ ПЛЮС, Ж ПРОТИВ ГАЛЛОВЫХ НЕМАТОД НА ТОМАТЕ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЁННОГО ГРУНТА

Оксана Александровна Маскаленко, Светлана Николаевна Нековаль, к.б.н., Анастасия Евгеньевна Садовая
ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений», г. Краснодар

Аннотация. Галловые нематоды (*Meloidogyne* spp.) вызывают значительные потери урожая и часто способствуют развитию вторичных инфекций. В условиях отсутствия зарегистрированных биологических нематицидов для томата защищённого грунта была проведена оценка эффективности нового комбинированного микробиологического препарата Инсетим Плюс, Ж против мелойдогиноза. Схема опыта также включала эталон - Фитоверм, П и контроль (без обработки). По результатам проведенных исследований опытный препарат Инсетим Плюс, Ж обеспечил биологическую эффективность, сопоставимую с эталоном (разница 1,1−5,2 %), значительно снизил образование галлов на корнях и повысил урожайность (на 0,3–0,5 и на 0,5–1,0 кг/м² выше эталона и контроля). Результаты подтверждают перспективность опытного биопрепарата для внедрения в сельскохозяйственное производство.

***Ключевые слова*:** галловые нематоды, нематицид, препарат, *Meloidogyne* spp., томат, защищенный грунт.

EVALUATION OF THE BIOLOGICAL EFFICACY OF THE MICROBIOLOGICAL FORMULATION INSETIM PLUS, L AGAINST ROOT-KNOT NEMATODES IN TOMATO UNDER PROTECTED CULTIVATION

Oksana Aleksandrovna Maskalenko, Svetlana Nikolaevna Nekoval, Anastasia Evgenievna Sadovaya
Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Centre of Biological Plant Protection», Krasnodar, Russia

Abstract. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) cause significant yield losses and often promote the development of secondary infections. In the absence of registered biological nematicides for greenhouse-grown tomato, the efficacy of a new combined microbiological formulation, Insetim Plus, L, was evaluated against root-knot disease. The experimental design also included a reference treatment with

Fitoverm, P, and an untreated control. According to the study results, Insetim Plus, L provided biological efficacy comparable to the reference (difference of 1.1–5.2 %), significantly reduced gall formation on roots, and increased yield (by 0.3–0.5 kg/m² compared to the reference and by 0.5–1.0 kg/m² compared to the control). The findings confirm the potential of the tested biopreparation for introduction into agricultural production.

Key words: root-knot nematodes, nematicide, preparation, *Meloidogyne* spp., tomato, protected cultivation.

Галловые нематоды (*Meloidogyne* spp.) являются повсеместно распространёнными паразитами растений, способными вызывать значительные экономические потери. Часто на пораженных нематодами участках растения, может возникать вторичная инфекция, вызванная грибами и бактериями, что еще больше влияет на потерю урожая [1]. Частое и чрезмерное использование химических средств защиты растений сопровождается риском токсического воздействия на почвенные биоценозы и здоровье человека, а также способствует формированию устойчивости у вредных организмов. В связи с этим существует высокая необходимость в разработке эффективных и одновременно экологически щадящих средств для контроля нематодных инвазий на культурных растениях. В связи с отсутствием зарегистрированных биологических нематицидов для использования на томате защищенного грунта, оценка эффективности нового комбинированного промышленного образца Инсетим Плюс, Ж, (*Bacillus thuringiensis* subsp. *thuringiensis* ИПМ-1140, *Streptomyces avermitilis* ATCC 31267, *Metarhizium anisopliae* var. *anisopliae*, *Beauveria bassiana* и *Arthrobotrys oligospora* 168) представляется актуальной задачей.

Целью исследований являлось определение эффективности промышленного образца биопрепарата Инсетим Плюс, Ж для контроля мелойдогиноза томата в условиях защищённого грунта.

Исследования проводили в теплице Федерального научного центра биологической защиты растений и лаборатории биорациональных средств и технологий защиты растений для ведения экологизированного, ресурсосберегающего и органического сельского хозяйства. Объект исследований – гибрид томата Яримару F1. Размеры опытных делянок – 10 м^2, схема посадки – 50×40 см, повторность – четырехкратная, размещение делянок – рендомизированное. Высадку рассады, уход за растениями и уборку урожая осуществляли вручную. Учет урожайности томата проводили 4 раза с интервалом 7 суток. Учёт поражения корневой системы томата мелойдогинозом проводили в соответствии с действующими методическими рекомендациями [2]. Биологическую эффективность определяли по количеству галлов на 1 растение по формуле Abbott [3].

Для контроля мелойдогиноза на томате в фазу бутонизации проводили трехкратную обработку биологическим препаратом Инсетим Плюс, Ж, предоставленным ООО «Биотехагро». Препарат применяли через систему

капельного полива с интервалом 7 суток в дозировке 2,5 мл/м² при расходе рабочей жидкости 800 л/га. В качестве эталонного препарата использовали Фитоверм, П (Аверсектин С, 8 г/кг), который за сутки до высадки рассады однократно вносили на поверхность почвы из расчета 94 г/м² с последующим перемешиванием почвы мотоблоком на глубину 25 см. Контроль – без обработки.

По числу образовавшихся галлов на корнях эффективность применения препарата Инсетим Плюс, Ж оказалась сопоставимой с эталонным препаратом. Хотя заражение растений нематодами наблюдалось и в опытных вариантах, его интенсивность была значительно ниже по сравнению с контролем, а на корнях отмечались лишь отдельные галлы. Только в контрольном варианте у растений были зафиксированы сингаллы.

Биологическая эффективность промышленного образца Инсетим Плюс, Ж была ниже на 1,1-5,2 % относительно эталонного препарата. Количество сохраненного урожая в опытном варианте было на 0,3-0,5 кг/м^2 больше в сравнении с Фитоверм, П, и на 0,5-1,0 кг/м^2 – в сравнении с контролем.

Применение опытного образца Инсетим Плюс, Ж в дозировке 25,0 мл/м^2 показало защитную эффективность, близкую к действию эталонного препарата Фитоверм, П (94,0 г/м²) в борьбе с галловыми нематодами на томате в условиях защищенного грунта. Кроме того, исследуемый биопрепарат положительно повлиял на урожайность томата, что подтверждает его перспективность для внедрения в сельскохозяйственное производство.

Исследования выполнены согласно Государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № FGRN-2024-0001.

Библиографический список

1. Чурикова А. К., Нековаль С. Н. Биологические агенты и их метаболиты в борьбе с Meloidogyne spp. при выращивании овощных культур (обзор) // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 3(64). С. 175–186. doi: 10.18470/1992-1098-2022-3-175-186.

2. Методические указания по проведению государственных испытаний нематицидов / сост. Л.А. Гуськова, О.З. Метлицкий, Л .Г. Данилов. М.: Б. и., 1982. 36 с.

3. Abbott W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. 1925. No. 18(2). P. 265-267

УДК 543.068.8:635.649

ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ РАСЩЕПЛЯЮЩЕЙСЯ ПОПУЛЯЦИИ CAPSICUM ANNUUM L. ПО ПРИЗНАКУ «СУММА КАПСАИЦИНОИДОВ»

Ольга Олеговна Тимина[1], *д.б.н., т.н.с.,*
Олег Юрьевич Тимин[2], *к.с.-х.н., доцент*
[1]ГОУПриднестровский государственный университет им. Шевченко, Тирасполь;
[2]ГУП «Республиканский научно-исследовательский институт экологии», Бендеры

Аннотация. В статье представлены результаты разработки экспресс-метода количественного определения суммы капсаициноидов в свежих плодах *C. annuum* в полевых или лабораторных условиях для расщепляющейся популяции по этому признаку на основе цветной реакции Гиббса. Использование этого метода непосредственно на рабочем месте селекционера значительно ускоряет и интенсифицирует процесс отбора по генотипу для создания селекционного материала растений с заданными свойствами.

Ключевые слова: *Capsicum annuum* L., свежие плоды, сумма капсаициноидов, реактив Гиббса, качественная оценка, количественное определение, селекция на остроту.

A QUICK METHOD OF ESTIMATING THE SEGREGATING POPULATION OF CAPSICUM ANNUUM L. USING THE CHARACTER «TOTAL CAPSAICINOID CONTENT».

Olga Olegovna Timina[1], *Oleg Yur'evich Timin*[2]
[1]Pridnestrovskii State University named after T.G. Shevchenko, Tiraspol
[2]State Unitary Enterprise, Research Institute of Ecology, Bender

Abstract. The article presents the results of the development of an express method for quantifying the total capsaicinoidamount in fresh *C. annuum* fruits in the field or laboratory for a segregating population based on Gibbs reagent.This method, which can be applied directly in the breeder's workplace, greatly expedites and enhances the process of genotyping for developing plant breeding material with desired traits.

The* key *words: *Capsicum annuum*, fresh fruits, the total capsaicinoid content, Gibbs reagent, qualitative evaluation, quantitative measurement, breeding for pungency.

Введение. Известно, что стручковый острый перец – одна из рентабельных и востребованных культур в глобальном масштабе, занимающая

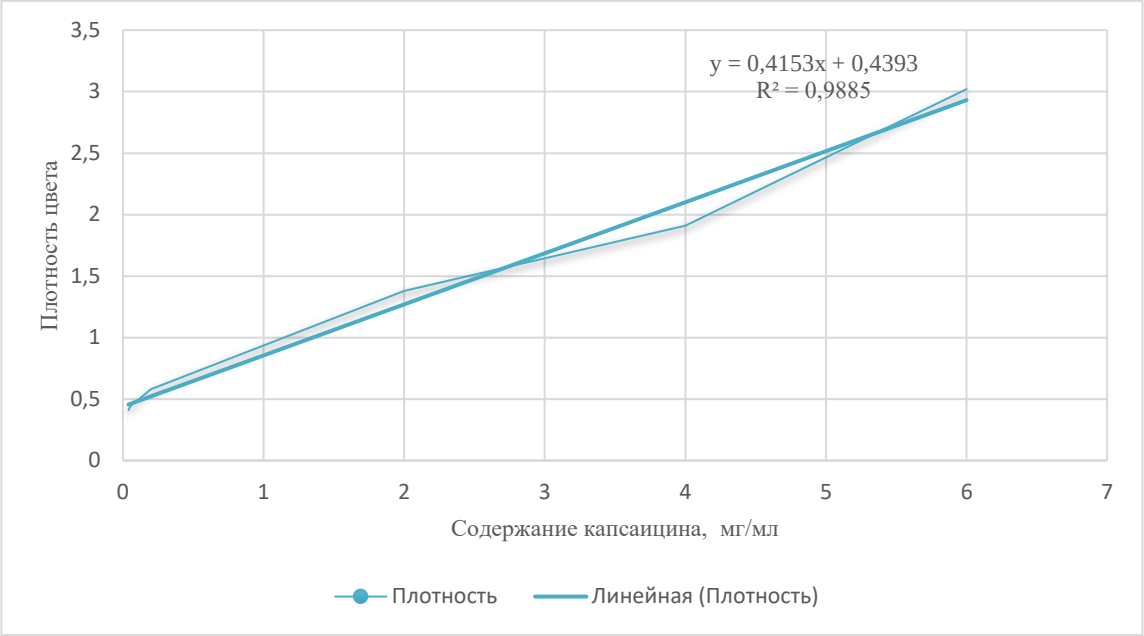
ежегодно по данным СТАТ ФАО не менее трех млн. га с общим объемом продукции свыше 30 млн. тонн. С культурой проводится целенаправленная селекция на адаптивность к абиотическим и биотическим факторам, хозяйственно-ценным показателями в том числе биохимическим по признаку остроты. Острый вкус обусловлен наличием в плодах перцев группы капсаициноидов, относящихся к липофильным алкалоидам, имеющих структурное родство с капсаицином [2]. Успех селекции по признаку остроты зависит от надежного и простого в исполнении метода оценки и отбора по генотипу. В настоящее время отсутствуют такие инструментальные методы для массового скрининга селекционного материала в полевых условиях по признаку остроты. Поэтому в селекционной практике продолжают использовать, как правило, самый простой метод определения горечи – органолептический. Однако этот метод мало информативен, не безопасен (капсаициноиды относятся к ирритантам) и не является надежным. В тоже время академиком Г.В. Лазурьевским с сотрудниками еще в 1983 году взамен органолептического был предложен качественный метод обнаружения капсаициноидов на основе цветной реакции со спиртовым раствором 2,6-дибром-n-бензохинонхлоримидом (реактив Гиббса) [2]. Этот реагент-проявитель в щелочной среде со всеми капсаициноидами образует синее окрашивание. Более того, разработчиками метода предполагалось, что интенсивность окраски зависит от суммарного содержания капсаициноидов, так как она удовлетворительно коррелировала с органолептической оценкой. Однако, количественная трансформация цветной реакции не была выполнена.

Цель исследований. Трансформировать Гиббса в количественное определение суммы капсаициноидов в свежих плодах перца, адаптировав этот анализ для полевых условий.

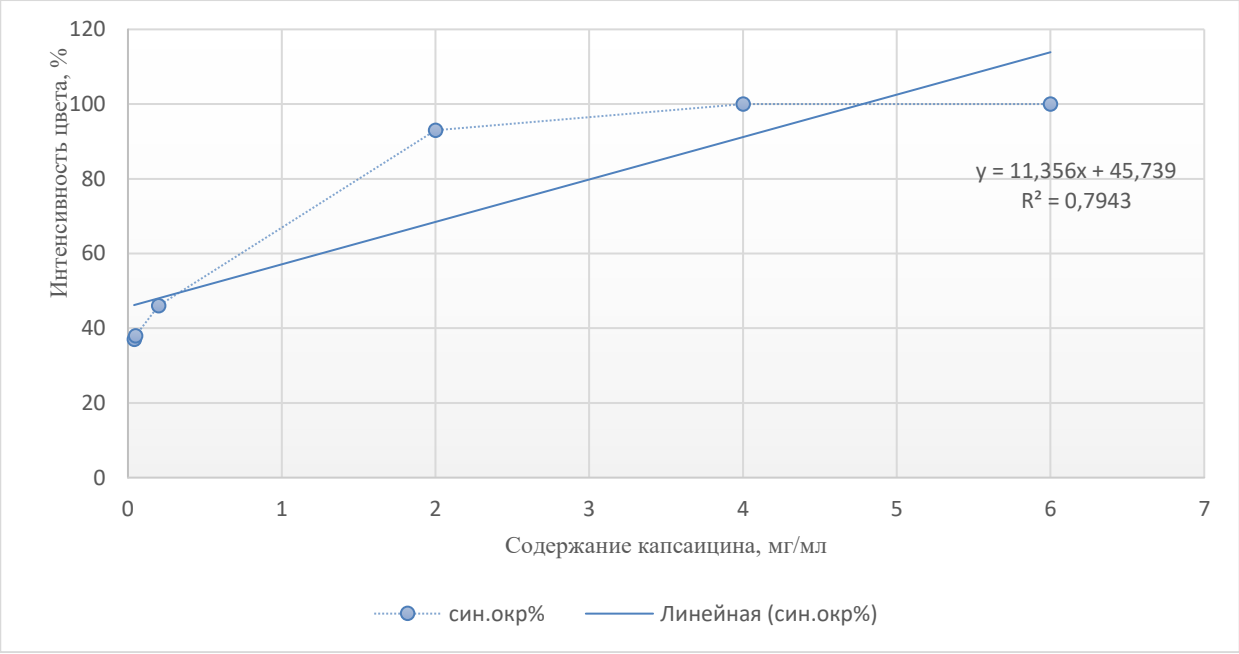
Материалы и методы. Реакцию Гиббса со стандартным раствором капсаицина осуществляли капельным методом на предметных стеклах, согласно опубликованным рекомендациям [2]. Сканировали окраску капли, используя портативный спектрофотометр Nix^{tm}ColorSensorSpectro– 2, производство Канада, в формате CMYK. В качестве стандартных растворов использовали капсаицин (AdooqBioscience, USA) с точными навесками 0,04; 0,05; 0,2; 2; 4; 6 мг/мл. Математическую обработку данных проводили в программе MS Office Excel.

Результаты исследований. В первую очередь определили разрешающую способность качественной реакции с реагентом-проявителем. Для этого, выполнили цветную реакцию Гиббса в каплях стандартных растворов капсаицина, провели сканирование окраски спектрофотометром по плотности цвета (десятичный логарифм коэффициента отражения) и интенсивности окраски (яркий или тусклый) в процентах. Исходя из полученных данных построили спектральные кривые, показывающие зависимость между концентрацией капсаицина в растворе и коэффициентами отражения синего цвета по параметрам плотности и интенсивности в формате CMYK (рис.1 a,b).В результате получена спектральная кривая для показателя плотности цвета,

выявляющая зависимость коэффициента отражения от концентрации капсаицина, и выведено уравнение линейной регрессии с высоким коэффициентом детерминации (Рис.1 a). Выведенное уравнение плотности цветау = 0,4153x + 0,4393 с коэффициентом R^2=0,9885 позволяет определять количественно содержание капсаицина в капле непосредственно в свежих плодах в конкретной расщепляющейся гибридной популяции на рабочем месте селекционера, что упрощает и ускоряет процесс скрининга нужных генотипов.



a



b

Рисунок 1. Плотность (a) и интенсивность синей окраски (b) в цветной реакции Гиббса на предметных стеклах в зависимости от концентрации капсаицина в капле в формате CMYK

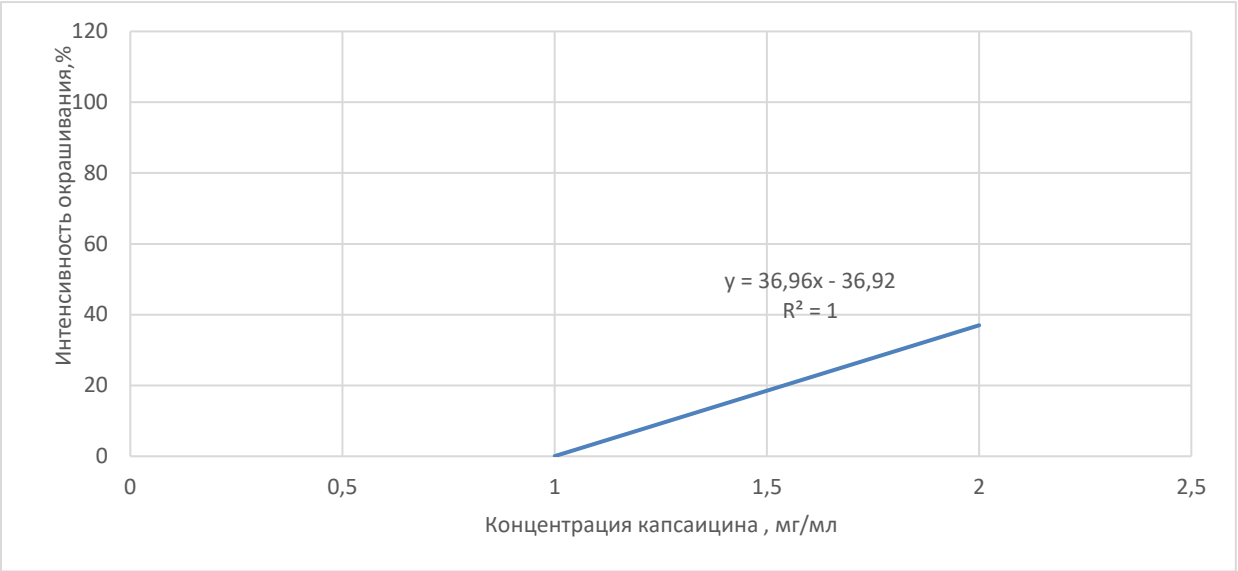


Рисунок 2. Линейная зависимость между интенсивностью окрашивания и концентрацией капсаицина в цветной реакции Гиббса

В тоже время интенсивность цвета оказалась не надежным показателем для корректного количественного определения капсаицина в капле, так как линейная зависимость между интенсивностью окраски капли и концентрацией капсаицина наблюдалась только при его содержании в пределах от 1 до 2 мг/мл (рис 1 b, рис. 2).

Выводы. Спектрофотометр Nix^{tm} Color Sensor Spectro – 2 в формате CMYK, сканирующий плотность цвета, позволяет не только осуществить и зафиксировать результат качественной цветной реакции Гиббса в капле, но и трансформировать полученные данные в количественные показатели. Это позволяет целенаправленно проводить оценку генотипов по признаку “сумма капсаициноидов”, интенсифицируя процесс создания новых сортов и гибридов.

Библиографический список

1. Лазурьевский Г.В., Гуцу Е.В. Метаболиты стручкового перца. Кишинев, Штиинца. – 1983. – С.1-65.

2. Рудаметова, Н.В. Исследование экстракции капсаицина из плодов стручкового перца рода Capsicum/Н.В. Рудаметова, И.С. Ким//Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». - 2019. - № 1. – С.62-73.

УДК 604.6:582602.4

ПОТЕНЦИАЛ ПРОМОТОРА ГЕНА ДЕФЕНЗИНА SM-D1 ИЗ РАСТЕНИЯ STELLARIA MEDIA В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Александр Сергеевич Трофимов, Светлана Римовна Стрельникова, Роман Александрович Комахин
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии» (ФГБНУ ВНИИСБ), Москва

Аннотация. Рассматривается оценка эффективности нового промотора гена *Sm-D1*из растения *S.media* в зависимости от организации области Т-ДНК бинарного вектора для агробактериальной трансформации растений. Анализ трансгенных растений *A.thaliana* и *S.tuberosum*, а также агро-инфильтрированных листьев растений *N.benthamiana* показал, что новый промотор в оригинальных бинарных векторах pCAMBIA целесообразно применять для продукции рекомбинантных белков в вегетативных тканях растений на более высоком уровне. В модифицированных бинарных векторах pCAMBIA генетические конструкции с промотором гена *Sm-D1* можно рекомендовать для создания мужских стерильных линий для производства гибридных семян или для защиты от фитопатогенов трансгенных растений на стадии проростков.

Ключевые слова: промотор, генетическая конструкция, трансгенные растения, биотехнология, GUS, *uidA,* CaMV35S.

POTENTIAL OF THE SM-D1 DEFENSIN GENE PROMOTER FROM STELLARIA MEDIAPLANT IN AGRICULTURAL BIOTECHNOLOGY

Alexander Sergeevich Trofimov, Svetlana Rimovna Strelnikova, Roman Alexandrovich Komakhin
FGBNU All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology (FGBNU VNIISB), Moscow, Russia

Abstract: The evaluation of the efficiency of the new *Sm-D1* gene promoter from the *S. media* plantwas considered depending on the organization of the T-DNA region of the binary vector for agrobacterium-mediated plant transformation. The analysis of transgenic *A. thaliana* and *S. tuberosum* plants, as well as *Agrobacterium*-infiltrated leaves of *N. benthamiana* plants showed that the novel promoter in the original pCAMBIA binary vectors is appropriate for the production of recombinant proteins in vegetative plant tissues at a higher level. In modified pCAMBIA binary vectors, genetic constructs with the *Sm-D1* gene promoter can be recommended for

the creation of male sterile lines for the production of hybrid seeds or for the protection of transgenic plants from phytopathogens at the seedling stage.

Keywords: promoter, genetic construct, transgenic plants, biotechnology, GUS, *uidA*, CaMV35S.

Введение. В сельскохозяйственной биотехнологии промоторы генов необходимы для создания генетических конструкций для генетической модификации растений с целью выполнения фундаментальных и прикладных исследований. Для создания трансгенных растений в качестве генетических конструкций используют бинарные векторы, в которых растительные промоторы расположены в области Т-ДНК и предназначены для экспрессии трансгена, которым может бытьцелевой ген для изменения фенотипа растения или репортерный ген.

Ранее из семян растения мокрицы (*S. media*) выделили пептид дефензин Sm-D1, проявляющий высокую антимикробную активность против фитопатогенных грибов и оомицетов [Slavokhotova et al. 2011]. Ген этого белка неоднократно использовали для создания трансгенных растений с повышенной устойчивостью к фитопатогенам [Ghag et al. 2014; Khadeeva et al. 2020]. Несмотря на интенсивные сообщения об изучении гена *Sm-D1*, функциональная эффективность его промоторной области оставалась неизученной.

Цель работы состояла в функциональной характеристике промоторной области гена *Sm-D1*для применения в биотехнологии растений.

Материалы и методы. Изолирование промоторной области гена *Sm-D1* из генома растения*S. media*осуществляли методом modifiedinverse PCR [Pogorelko and Fursova 2008]. Агробактериальную трансформацию *A. thaliana* осуществляли методом flower dip [Zhang et al. 2006], растений табака *N. tabacum*и картофеля *S. tuberosum* газонным методом [Shukurov et al. 2012], растений табака *N. benthamiana* методом агро-инфильтрации [Ivanova and Komakhin 2024].

Результаты. Нуклеотидную последовательность промотора гена *Sm-D1* изолировали из генома растения мокрицы с использованием метода modifiedinverse PCR, который первоначально был разработан для определения нуклеотидных последовательностей, прилегающих к области Т-ДНК в геноме трансгенных растений. При изоляции промотора получили две уникальные и идентичные на 88% нуклеотидные последовательности длиной около 800 п.н., которые были аннотированы в GenBank под номерами GenBank PQ882509 и GenBank PQ882508.

В трансгенных растениях паттерн изолированных растительных промоторов зависит от последовательности вирусного энхансера CaMV35S, предназначенного для управления селективным геном в области Т-ДНК плазмидного бинарного вектора [Ivanova and Komakhin 2024]. Поэтому, варианты промотора *Sm-D1* поместили в бинарные векторы для агробактериальной трансформации растений, различающиеся по молекулярной организации области Т-ДНК. В одном случае промоторы поместили в

оригинальные бинарные векторы pCAMBIA, содержащие энхансер CaMV35S для управления селективным геном в области Т-ДНК. В другом случае промоторы поместили в модифицированный бинарный вектор pCAMBIA, у которого в области Т-ДНК последовательность CaMV35S, предназначенная для управления селективным геном, заменена на последовательность растительного промотора pro-Sm-AMP2.В генетических конструкциях каждый вариант промотора *Sm-D1*контролировал экспрессию репортерного гена *uidA*, кодирующего репортерный белок β-глюкуронидазу (GUS).

Первоначально, генетические конструкции на основе оригинальных бинарных векторов доставили в листья растений табака *N. benthamiana* и создали с их использованием трансгенные растения *A. thaliana* и картофеля. Установили, что наиболее эффективные варианты промотора *Sm-D1* продуцировали от 100 до 260% активности GUS, продуцируемой известным сильным промотором CaMV35S, и были активны в большинстве вегетативных тканей растений.

Для проверки способности промотора *Sm-D1* обеспечивать независимую от энхансера CaMV35S экспрессию гена *uidA* в трансгенных растениях, использовали модифицированный бинарный вектор pCAMBIA. Эти конструкции были использованы для создания трансгенных растений *N. tabacum*. Установили, что в этом случае промотор *Sm-D1* способен управлять экспрессией *uidA* на высоком уровне в пыльце и проростках растений.

Выводы. Новый промотор гена *Sm-D1* в оригинальном бинарном векторе pCAMBIA целесообразно применять для продукции рекомбинантных белков в вегетативных тканях растений на более высоком уровне. Специфичные для пыльцы или проростков генетические конструкции с промотором *Sm-D1* можно рекомендовать для создания мужских стерильных линий для производства гибридных семян или для защиты проростков растений от фитопатогенов.

Работа выполнена при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FGUM-2025-0004).

Библиографический список

1. Ivanova L.A., Komakhin R.A. Efficiency of the alpha-hairpininSmAMP-X gene promoter from Stellaria media plant depends on selection of transgenic approach // Transgenic Research. — 2024. — Vol. 33, № 1. — P. 1-19. — DOI: 10.1007/s11248-023-00374-6

2. Pogorelko G.V., Fursova O.V. A highly efficient miPCR method for isolating FSTs from transgenic Arabidopsis thaliana plants // Journal of Genetics. — 2008. — Vol. 87, № 2. — P. 133-140. — DOI: 10.1007/s12041-008-0020-8

3. Shukurov R.R., Voblikova V.D., Nikonorova A.K., Komakhin R.A., Komakhina V.V., Egorov T.A., Grishin E.V., Babakov A.V. Transformation of tobacco and Arabidopsis plants with Stellaria media genes encoding novel hevein-like peptides increases their resistance to fungal pathogens // Transgenic Research. — 2012. — Vol. 21, № 2. — P. 313-325. — DOI: 10.1007/s11248-011-9534-6

4. Slavokhotova A.A., Odintsova T.I., Rogozhin E.A., Musolyamov A.K., Andreev Y.A., Grishin E.V., Egorov T.A. Isolation, molecular cloning and antimicrobial activity of novel defensins from common chickweed (Stellaria media L.) seeds // Biochimie. — 2011. — Vol. 93, № 3. — P. 450-456. — DOI: 10.1016/j.biochi.2010.10.019

5. Zhang X., Henriques R., Lin S.-S., Niu Q.-W., Chua N.-H. Agrobacterium-mediated transformation of Arabidopsis thaliana using the floral dip method // Nature Protocols. — 2006. — Vol. 1, № 2. — P. 641-646. — DOI: 10.1038/nprot.2006.97

УДК 633.81

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ SALVIA OFFICINALIS L.

Мария Владимировна Топорищева, Ирина Николаевна Коротких, к.с.-х.н.
ВНИИ лекарственных и ароматических растений, г. Москва

Аннотация. В статье описаны морфологические особенности пыльцевых зерен шалфея лекарственного. В результате анализа наибольший процент фертильных пыльцевых зерен отмечен в образцах ВИЛАР – от 75,5 до 99,0%.

Ключевые слова: шалфей, пыльца, жизнеспособность пыльцы, фертильность пыльцы, ацетокарминовый метод, биотип, размер пыльцевых зерен.

PALINOLOGICAL FEATURES OF SALVIA OFFICINALIS L.

Mariia Vladimirovna Toporishcheva,
Irina Nikolaevna Korotkikh, PhD in Agriculture
All-Russian research Institute of medicinal and aromatic plants (VILAR), Moscow

Abstract. The article describes the morphological characteristics of sage pollen grains. As a result of the analysis, the highest percentage of fertile pollen grains was observed in VILAR samples – from 75.5 to 99.0%.

Key words: sage, pollen, pollen viability, pollen fertility, acetocarmine method, biotype, pollen grain size.

Введение. Шалфей лекарственный значимая лекарственная и эфирномасличная культура. С 50-х годов XX века у шалфея лекарственного отмечено появление мужской стерильности, позднее Г. С. Турсин определил ее как цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС) [4]. Для шалфея лекарственного характерна преимущественно структурная ЦМС, характеризующаяся отсутствием или нарушением развития пыльников, однако встречается ЦМС спорогенного типа – отсутствие пыльцы или она стерильна [1].

По проявлениям признаков стерильности Турсиным Г. С. выделены три биотипа по репродуктивному типу. Фертильный биотип – развиты обе пары пыльников, пыльца жизнеспособна и фертильна (4/4). Мужскистерильный биотипимеет полностью редуцированные пыльники (0/0). Полустерильный биотип (с пониженной фертильностью) обладает частично редуцированными пыльниками и стерильной пыльцой (2/4, 2/2) [4].

Фертильной пыльцу называют, чьи пыльцевые зерна (ПЗ) способны прорастать на рыльце пестика. В лабораторных условиях определение фертильности или жизнеспособности проводят двумя типами методов: с

помощью проращивания пыльцевых зерен на питательной среде и с помощью окрашивания. В селекционных целях чаще применяют упрощенный экспресс метод - окрашивание пыльцевых зерен [2].

Цель исследования – провести оценку качества пыльцы селекционных и коллекционных образцов *S. officinalis* L., находящихся в Опытном поле ФГБНУ ВИЛАР.

Материалы и методы. Объектами исследования были 3 коллекционных образца ВИЛАР, интродукционный образец, полученный из НИИСХ Крыма, сорта «Кубанец» и «Фиолетовый аромат» селекции Северо-Кавказского филиала ФГБНУ ВИЛАР.

Определение биотипа проводилось на растениях с 1 погонного метра каждого питомника шалфея лекарственного, находящегося в Опытном поле ФГБНУ ВИЛАР. Подсчитывали число растений с учетом степени развития пыльников.

Фертильность пыльцы определяли ацетокарминовым методом без предварительной фиксации, используя свежий материал. Сбор пыльников проводили с 10 до 12 ч. дня в сухую солнечную погоду с имеющихся питомников семеноводства в Опытном поле ФГБНУ ВИЛАР в фазу окончания массового цветения. Для анализа пыльник выкладывали на предметное стекло и раздавливали пинцетом в капле ацетокармина. Препарат накрыли покровным стеклом и осторожно прогревали на спиртовке. У фертильных пыльцевых зерен зернистая цитоплазма и спермии окрашиваются в густой карминово-красный цвет. Стерильные пыльцевые зерна почти не окрашиваются или их окраска неравномерна [2].

Результаты работы. Осмотрено 1065 побегов в 6 образцах шалфея лекарственного (табл. 1). К образцам с повышенным содержанием фертильного биотипа можно отнести ВИЛАР и белоцветковую форму ВИЛАР, чье содержание 4/4 (полностью фертильного биотипа) варьирует от 87,0 % до 99,0 %.

Таблица 1 – Учёт биотипического состава *S. officinalis* L., %, 2024 г.

Образец	4/4	2/4	2/2 и 0/2	0/0
ВИЛАР	87,0 ± 9,2	10,5 ± 7,4	0	0
ВИЛАР-80	54,8 ± 16,4	16,6 ± 7,5	18,4 ± 7,4	10,2 ± 1,6
ВИЛАР белоцветковая форма	99,0 ± 0,0	0	0	0
Крымский	65,4 ± 3,3	12,9 ± 9,1	6,5 ± 0,3	13,3 ± 4,8
Кубанец	45,1 ± 10,3	19,8 ± 5,8	18,1 ± 8,7	17,0 ± 0,9
Фиолетовый аромат	34,7 ± 19,4	35,7 ± 8,2	26,0 ± 12,3	3,6 ± 1,1

В результате микроскопического исследования и обработки литературных данных нами описаны пыльцевые зерна *S. Officinalis* L. Форма зерен шаровидно-сплющенная, радиально-симметричная. Размер пыльцевых зерен средние и крупные (от 25–50 мкм до 50–100 мкм), что характерно для энтомофильных растений, варьирует от 33,1 до 62,7 мкм. Апертура пыльцевого

зерна выражена в виде пор. Тип пыльцевого зерна – шестибороздный. Скульптура сетчатая, разноячеистая [3].

Самые крупные пыльцевые зерна отмечены в образце белоцветковой формы ВИЛАР - 62,7 ± 3,20 мкм и ВИЛАР - 41,9 ± 8,41 мкм, что соответствует определенным ранее образцам с повышенным содержанием особей фертильного биотипа, также в образце сортов Кубанец и Фиолетовый аромат с преимущественным содержанием фертильного и полустерильного биотипа - 41,4 ± 2,04 мкм и 42,0 ± 9,64 мкм соответственно (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристика пыльцевого зерна *S. officinalis* L., 2024 г.

Образец	ВИЛАР	ВИЛАР-80	ВИЛАР белоцветковая форма	Крымский	Кубанец	Фиолетовый аромат
Средний размер, мкм	41,9 ± 8,41	34,1 ± 4,47	62,7 ± 3,20	35,6 ± 7,89	41,4 ± 2,04	42,0 ± 9,64

В результате определения жизнеспособности пыльцы выявлено, что наибольший процент фертильных пыльцевых зерен отмечен в образцах ВИЛАР – от 75,5 до 99,0%. Фертильные пыльцевые зерна крупнее стерильных; разница может достигать 34,5 % (табл. 3).

Таблица 3 – Окрашивание пыльцевых зерен *S. officinalis* L., 2024 – 2025 гг.

Вариант	ВИЛАР	ВИЛАР-80	ВИЛАР белоцветковая форма	Крымский	Кубанец	Фиолетовый аромат
Окрашенных ПЗ, %	75,7 ±10,1	76,4±3,5	99,0 ±1,0	45,7 ±4,4	50,1 ±10,1	52,0 ±10,8
Размер окр*., мкм	47,9 ± 6,06	36,6 ± 3,03	62,7 ± 3,20	44,4 ± 2,62	40,1 ± 0,90	50,6 ± 6,12
Размер неокр., мкм	35,2 ± 7,92	31,2 ± 4,32	0	29,1 ± 1,76	42,2 ± 2,15	33,4 ± 0,5

*Примечание: окр. – окрашенные ПЗ, неокр. – неокрашенные ПЗ.

Выводы. Форма пыльцевых зерен *S. officinalis* L. шаровидно-сплющенная, симметрия радиальная. Пыльцевые зерна крупные, средний размер варьирует от 34,1 ± 4,47от 62,7 ± 3,20мкм. Апертура в виде пор и тип пыльцевого зерна – шестибороздный. Скульптура сетчатая, разноячеистая. Размер и поверхность фертильных и стерильных отличается: первые крупнее и с гладкой поверхностью.

Размер пыльцевых зерен напрямую зависит от биотипа растения. Наиболее крупные пыльцевые зерна отмечены в образцах с преобладанием фертильного биотипа.

Библиографический список

1. Анисимова И. Н. Структурно-функциональная организация генов, индуцирующих и супрессирующих цитоплазматическую мужскую стерильность у растений / И. Н. Анисимова // Генетика. — 2020. — Т. 56, № 11. — С. 1239-1249.

2. Барыкина Р. П. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы / Р. П. Барыкина, Т. Д. Веселова, А. Г. Девятов, Х. Х. Джалилова, Г. М. Ильина, Н. В. Чубатова. — Москва : Изд-во МГУ, 2004. — 312 с.

3. Бурмистров А. Н. Медоносные растения и их пыльца / А. Н. Бурмистров. — Москва : Рипол Классик, 1990. — 286.

4. Турсин, Г.С. Биологические основы семеноводства шалфея лекарственного : автореф. дис. … д. биол. наук : 03.00.15 / Турсин Георгий Степанович. – Москва, 1971. – 21 с.

577.21:631.527

НЕПРЯМОЙ МОРФОГЕНЕЗ SORGHUM BICOLOR L. ИЗ КОЛЛЕКЦИИ КФУ ИМ. В.И. ВЕРНАДСКОГО КАК ОСНОВА БИОТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СЕЛЕКЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

Айрат Рафисович Гафуров[1], Анастасия Ивановна Билык[1], Анна Владимировна Камышникова[1], Виктория Николаевна Юдина[2], Любовь Леонидовна Болдырева[3]

[1] – лаборатория микроклонального размножения растений, Селекционно-семеноводческий центр плодовых культур, кафедра ботаники и физиологии растений и биотехнологий Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского, г. Симферополь
научный руководитель: к.б.н. Сидякин А.И.
[2] – к.с.-х.н., доцент кафедры лесного дела и садово-паркового строительства Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского, п.г.т. Аграрное
[3]– к.с.-х.н., доцент, доцент кафедры земледелия и растениеводства Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО КФУ им. В. И. Вернадского, п.г.т. Аграрное

INDIRECT MORPHOGENESIS OF SORGHUM BICOLOR L. FROM THE COLLECTION OF V.I. VERNADSKY KFU AS THE BASIS OF BIOTECHNOLOGY FOR THE CREATION OF NEW BREEDING ACHIEVEMENTS

Airat Rafisovich Gafurov, Anastasia Ivanovna Bilyk, Anna Vladimirovna Kamyshnikova, Victoria Nikolaevna Yudina, Lyubov Leonidovna Boldyreva
FSAEI HE «V. I. Vernadsky Crimean Federal University»

Аннотация. В исследовании представлены данные о введении в культуру *invitro* сорго (*Sorghum bicolor* L.) селекции АТА КФУ им. В.И. Вернадского и получении растений-регенерантов методом непрямого морфогенеза в культуре изолированных тканей.

Ключевые слова: сорго, микроклональное размножение, непрямой морфогенез, культура *in vitro*, биотехнология сорго, каллусогенез *in vitro*, растения-регенеранты.

Введение. Биотехнология сорго сталкивается с рядом сложностей, обусловленных реакциями объекта на введение в культуру *invitro*, что

выражается в продукции фенольных соединений, низкой жизнеспособности полученных тканей и краткосрочной способности к регенерации [1, 7].

Учитывая, что мировое производство сорго (*Sorghum bicolor* L.) на 2025 год по данным зарубежной сельскохозяйственной службы США составляет 62,396 млн. тонн [8], а в условиях сдвига климатического и водного режимов, для многих стран именно эта культура стала залогом продовольственной безопасности [4, 6], создание системы получения каллусных культур и растений-регенерантов *S. bicolor* – задача актуальная, решение которой открывает возможности для дальнейших селекционных и молекулярно-биотехнологических изысканий.

Цель настоящего исследования заключается в разработке системы непрямого морфогенеза нескольких сортов *Sorghum bicolor* L. для дальнейших биотехнологических и молекулярно-генетических исследований.

Материалы и методы. Работу проводили в лаборатории микроклонального размножения растений Селекционно-семеноводческого центра плодовых культур КФУ им. В.И. Вернадского в период с января по июль 2025 г. Объектами исследования стали четыре сорта сорго: *Крымское 15, Украинское 20, Крымбел, Суданская трава Чародейка*.

Исследования проводили согласно методике работы с культурой изолированных тканей и органов растений, основанной на общепринятых классических приемах.

Перед проведением стерилизации по 100 семян каждого сорта замачивали в воде на 12 часов и очищали от семенной кожуры. Первый этап стерилизации семян осуществляли 40 минутным воздействием 1 % $KMnO_4$ с добавлением детергента Tween-80. Второй этап – суточная экспозиция в 9 % H_2O_2, далее однократная отмывка стерильной дистиллированной водой. Простерилизованные семена, для получения асептической культуры проращивали в пробирках в течение 7 суток на питательной среде MS [5], содержащей 58,4 мМ сахарозы и 6 г/л агара при 16-часовом светопериоде.

В качестве первичных эксплантов для индукции каллусообразования использовали эпибласты и кончики корней размером 5 мм от 7 суточных асептических проростков. Экспланты помещали на среды по прописи MS, содержащие 87,6 мМ сахарозы, 6 г/л агара и различные регуляторы роста (таблица 1).

Таблица 1 – Фитогормональный состав питательных сред, использованных для индукции каллуса сорго

Фитогормоны	Модификации питательных сред			
	SB1	SB2	SB3	SB4
2,4-Д, мкМ	9,05	13,57	9,05	13,57
6-БАП, мкМ	2,22	2,22	-	-
Кинетин, мкМ	-	-	2,33	2,33

По истечении 20 суток проводили учет жизнеспособных каллусов. Полученные первичные каллусы переносились на питательные среды с

минеральной основой MS содержащей 87,6 мМ сахарозы и различные цитокинины и добавки (таблица 2) для пролиферации и индукции морфогенеза.

Таблица 2 – Состав питательных сред, использованных для регенерации сорго

Фитогормоны и добавки	Модификации питательных сред						
	SB5	SB6	SB7	SB8	SB9	SB10	SB11
6-БАП, мкМ	8,88	8,88	13,32	13,32	8,88	8,88	4,44
Кинетин, мкМ	2,32	2,32	-	-	-	-	-
НУК, мкМ	2,69	2,69	-	-	-	-	-
ТДЗ, мкМ	-	-	-	-	2,27	2,27	4,54
$CaNO_3$; мМ	-	3,05	-	3,05	-	3,05	3,05

Результаты. Используемый вариант стерилизации обеспечивал получение до 96 % асептической культуры, так на 7 сутки стерильность проростков достигала 95,8 % у проростков семян сорта *'Крымбел'*,93,8 % у проростков семян *'Крымское 15'*, 74,0 % у проростков семян *'Суданская трава Чародейка'* и84,4 % у проростков семян *'Украинское 20'*.

Наибольшее количество жизнеспособных каллусов было получено в тех случаях, когда в качестве первичных эксплантов использовали эпибласты семидневных проростков. Оптимальными средами для индукции каллусообразования оказались питательные среды в вариантах SB3 и SB4 (табл. 1) содержащие 2,4-Д в качестве ауксина и кинетин, в качестве цитокинина, что согласуется с исследованиями каллусогенеза для других сортов сорго [2, 3]. Следует отметить, что минимальное выделение фенольных соединений эксплантами наблюдалось на среде SB4, содержащей 9,05 мкМ 2,4-Д и 2,33 мкМ кинетина для всех сортов (таблица 1).

Установлено, что максимальная частота непрямого морфогенеза, из каллусных культур второго пассажа наблюдалась на средах SB9 и SB10 (табл. 2), содержащих тидиазурон в концентрации 2,27 мкМ, при этом наблюдали активное формирование микропобегов (рис. 1). Наибольший морфогенетический потенциал показан при использовании семян генотипов сортов (в порядке убывания): *Крымское 15, суданская трава Чародейка* и *Украинское 20.*

Рисунок 1. Формирование микропобегов у сорго сорта *'Крымское 15'* на среде с тидиазуроном

Выводы. В ходе исследования разработана система непрямого морфогенеза четырех сортов *Sorghum bicolor* L., подобраны оптимальные составы питательных сред для индукции каллусообразования и морфогенеза.

Исследование выполнено в рамках научного проекта молодых ученых «Комплексные биотехнологические и молекулярно-генетические исследования селекционных достижений сорго из коллекции Института «Агротехнологическая академия» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского», как фундаментальная основа создания новых генотипов для ускорения селекционного процесса», МОЛ/2024/1.

Библиографический список

1. Belide, S. Robust genetic transformation of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) using differentiating embryogenic callus induced from immature embryos. / S. Belide, T. Vanhercke, J. R. Petrie [et al.] // Plant methods. – 2017. – Vol. 13, №109.
2. Bhanupriya, C & Kar, Satarupa. (2024). Callus-mediated organogenesis and regeneration of Sorghum bicolor under the influence of natural and synthetic growth regulators. / C. Bhanupriya, K. Satarupa // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant. – 2024. – Vol. 60.
3. Dreger, M. Improved plant regeneration in callus cultures of *Sorghum bicolor* (L.) Moench / M. Dreger, R. Mól, A. Deja [et al.] // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant. –2019. - Vol. 55.
4. Hossain, M. Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security / M. Hossain, M. Nahidul, M. Mostofa [et al.] // Journal of Agriculture and Food Research. – 2022.
5. Murashige, T. A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures / T. Murashige, F. Skoog // Plant Physiology. – 1962. – Vol. 15. – P.473-497.
6. Pereira, L. Leveraging the Potential of Sorghum as a Healthy Food and Resilient Crop in the South African Food System / L. Pereira, C. Hawkes // Frontiers in sustainable food systems. – 2022. – Vol. 6. – P.786151.
7. Silva, T. N., Thomas, J. B., Dahlberg, J., Rhee, S. Y., & Mortimer, J. C. (2022). Progress and challenges in sorghum biotechnology, a multipurpose feedstock for the bioeconomy / T. Silva, J. Thomas, J. Dahlberg [et al.] // Journal of experimental botany. – 2022. – Vol. 73, № 3. – P.646–664.
8. The Foreign Agricultural Service U.S. Department of agriculture : official website. – URL: https://www.fas.usda.gov/ (датаобращения: 30.08.2025).

УДК 615.322

ОЦЕНКА МЕМБРАНОПРОТЕКТОРНОЙ АКТИВНОСТИ ТАНИНОВ ARONIA MELANOCARPA

Ксения Николаевна Бушмелева[1], София Сергеевна Охотникова[2], Дмитрий Александрович Теренжев[1], Тимур Геннадьевич Белов[1]
[1]Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова, г. Казань
[2]Институт экологии, биотехнологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань

Аннотация. Методами колоночной хроматографии получена высокоочищенная таниновая фракция из плодов аронии черноплодной. Установлено, что танины аронии проявляют выраженную концентрационно-зависимую мембранопротекторную активность в моделях осмотического и перекисного гемолиза, значительно превосходя по эффективности эталонные антиоксиданты (кверцетин и тролокс). Показано, что таниновая фракция аронии обладает более высокой мембранопротекторной активностью по сравнению с индивидуальной таниновой кислотой. Результаты свидетельствуют о перспективности применения таниновых фракций аронии для защиты клеточных мембран от окислительного повреждения.

Ключевые слова: плоды *Aronia melanocarpa*, танины, химический состав, экстракция, мембранопротекторная активность, перекисный гемолиз, осмотический гемолиз.

EVALUATION OF THE MEMBRANOPROTECTIVE ACTIVITY OF ARONIA MELANOCARPA TANNINS

Kseniya Nikolaevna Bushmeleva[1], Sofia Sergeevna Okhotnikova[2], Dmitry Alexandrovich Terenzhev[1], Timur Gennadyevich Belov[1]
[1]Arbuzov Institute of Organic and Physical Chemistry, Kazan, Russian Federation
[2]Institute of Ecology, Biotechnology and Nature Management, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation

Abstract. A highly purified tannin fraction was obtained from *Aronia melanocarpa* fruits using column chromatography methods. It was established that aronia tannins exhibit pronounced concentration-dependent membrano protective activity in models of osmotic and peroxide-induced hemolysis, significantly surpassing the efficacy of reference antioxidants (quercetin and Trolox). The aronia tannin fraction was shown to possess higher membrano protective activity compared to individual tannic acid. The results indicate the potential of aronia tannin fractions for protecting cell membranes from oxidative damage.

Key words: Aronia melanocarpa fruits, tannins, chemical composition, extraction, membranoprotective activity, peroxide-induced hemolysis, osmotic hemolysis

Введение. Плоды аронии черноплодной (*Aronia melanocarpa*) признаны ценным источником биологически активных соединений, в первую очередь полифенольной природы (Sidor and Gramza-Michałowska, 2019).

Важным аспектом, определяющим биологическую активность экстрактов, является их химический состав, который варьирует в зависимости от сорта растения и метода экстракции (Denev *et al.,* 2019). Для аронии характерно высокое содержание антоцианов, однако именно танины, как показывают исследования, могут вносить значительный вклад в мембранопротекторные свойства ее экстрактов (Oszmiański and Wojdylo, 2005).

Установление взаимосвязи между химическим составом таниновых комплексов и их способностью защищать мембраны эритроцитов от гемолиза, индуцированного различными факторами, является актуальной задачей. Цель настоящей работы заключалась в том, чтобы провести сравнительную оценку мембранопротекторной активности таниновой фракции, выделенной из плодов аронии черноплодной, таниновой кислоты и эталонных антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, тролокса, кверцетина) в отношении осмотического и перекисного гемолиза эритроцитов крыс.

Материалы и методы. В работе использованы биологически зрелые плоды аронии черноплодной сортов «Черная жемчужина» и «Черноокая». Ягоды измельчали экстрагировали методом однократной мацерации 70% этанолом при соотношении биомасса/растворитель 1:5. Гомогенаты перемешивали с постоянным потоком сухого аргона, центрифугировали для отделения грубого осадка для избегания окислительных процессов. Супернатант концентрировали на роторном испарителе до полного удаления растворителя.

Измельченные ягоды экстрагировали методом однократной мацерации с 50% раствором этанола и добавлением 0.22% гидроксида натрия по массе к растворителю для создания буферной системы с pH 8.0. Затем гомогенаты центрифугировали и высушивали, очищали и концентрировали в вакууме до конечной концентрации 7%. Полученный экстракт фильтровали через воронку Шотта для дополнительной очистки и осветления.

Мембраностабилизирующую активность исследуемых соединений оценивали с использованием методов, инициирующих осмотическое и перекисное повреждение мембран эритроцитов крови крыс и адаптированных к микропланшетному ридеру (Bushmeleva *et al.,* 2021). Мембраностабилизирующее действие экстрактов оценивали как степень ингибирования гемолиза, выраженную в %.

Результаты работы. Химический состав экстрактов. Общее содержание танинов было максимальным при использовании 70% этанольного экстракта ягод аронии сорта «Черноокая» (табл. 1). Также в нем было выше содержание фенолов и флавоноидов, однако содержание антоцианов и сахаров оказалось

ниже. Повышенное содержание танинов и низкое содержание антоцианов и сахаров в экстракте ягод аронии сорта «Черноокая» способствовало его выбору для дальнейших исследований при получении экстрактов, обогащенных таниновыми соединениями. В качестве экстрагента использован 50% раствор этанола с 0.22% гидроксидом натрия. После колоночной хроматографии на гель-фильтрационной смоле Sephadex LH-20 содержание танинов было максимальным и достигало 911.7 мг-эквивалента таниновой кислоты на грамм сухого экстракта.

Таблица 1 – Групповой состав экстрактов аронии черноплодной двух сортов при использовании 70% этанола, мг/г сухого экстракта

Сорт	Общее содержание сахаров	Общее содержание фенолов	Общее число флавоноидов	Общее содержание антоцианов	Общее содержание танинов
Черная жемчужина	61.75	15.17	0.93	3.12	52.3
Черноокая	43.58	25.31	1.15	1.81	71.9

Анализ мембранопротекторной активности. Считается, что защитный эффект танинов обусловлен их взаимодействием с мембраной эритроцитов, потенциально стабилизируя ее против осмотического стресса. Как танин *A.melanocarpa*, так и таниновая кислота продемонстрировали прямое зависимое от концентрации ингибирование осмотического и перекисного гемолиза(Рисунок 1). При концентрациях 4 мг/мл и выше танин аронии и таниновая кислота продемонстрировали защитные эффекты – ингибирование осмотического гемолиза превысило 80%, что превышает эффекты кверцетина и тролокса. При концентрации 1 мг/мл танин *A.melanocarpa* оказывал в 1.5 раза более выраженный мембранопротекторный эффект, что указывает на более высокую активность по сравнению с таниновой кислотой. Танин аронии уменьшал перекисный гемолиз до 53%, что на 51% имело более выраженный эффект, чем эффект таниновой кислоты.

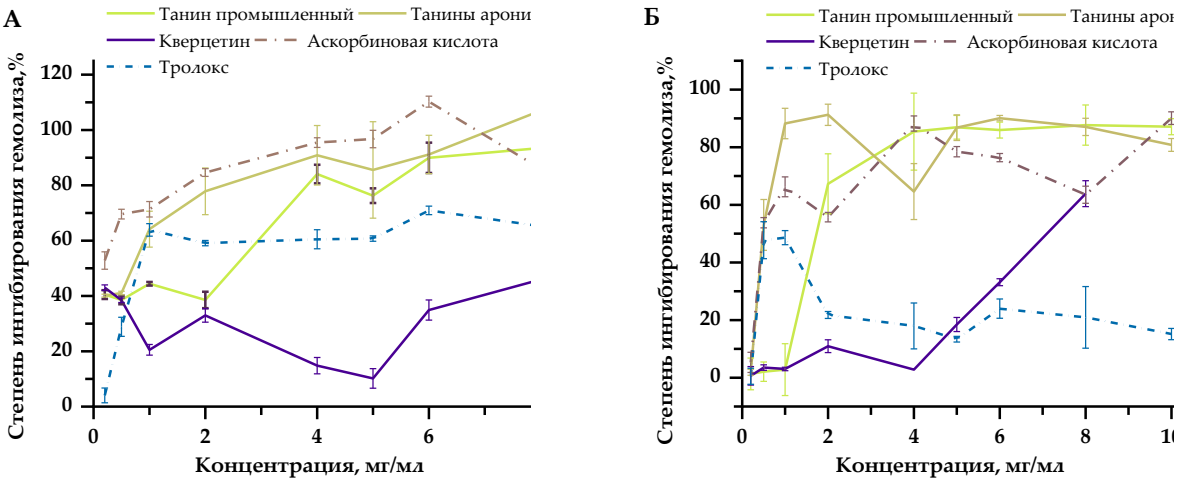


Рисунок 1. График зависимости степени ингибирования осмотического и перекисного гемолиза от концентраций исследуемых веществ

Кверцетин показал сниженный эффект при более высоких концентрациях, что может быть обусловлено низкой растворимостью в

физиологических средах. Тролокс обеспечил умеренный уровень защиты от гемолиза и показал последовательное ингибирование гемолиза.

Аскорбиновая кислота продемонстрировала зависимый от концентрации защитный эффект против свободорадикальгого и перекисногогемолиза. Наибольшее ингибирование гемолиза наблюдалось при концентрации 10 мг/мл — 90.08%. Тролокси кверцетин, в свою очередь, имеют значимо меньшую способность удалять свободные радикалы на мембранах эритроцитах сравнительно используемых танинов.

Выводы. Сорт аронии Черноокая идентифицирован как оптимальное сырье для получения таниновых концентратов, демонстрируя наибольшее содержание танинов, фенолов и флавоноидов при пониженном уровне сахаров и антоцианов. Выявлена выраженная мембранопротекторная активность танинов, эффективно ингибируя как осмотический, так и перекисный гемолиз, превосходя по эффективности эталонные антиоксиданты — кверцетин и тролокс. Мембранопротекторные эффекты танинов против гемолиза обусловлены, во-первых, их антиоксидантной активностью. Во-вторых, танины обладают свойством хелатировать ионы металлов, что может препятствовать активности реагента Фентона (Otakar *et al.*, 2010). В-третьих, танины могут взаимодействовать с мембранами эритроцитов напрямую, влияя на их текучесть и стабильность. Полифенольные структуры танинов образуют водородные связи с полярными головками фосфолипидов и с мембранными белками, увеличивая ригидность мембраны и снижая ее проницаемость для ионов и воды (Ozdal, Capanoglu and Altay, 2013). На основании проведенных исследований можно заключить, что таниновая фракция аронии обладает уникальным комплексом биологических свойств, выгодно отличающим ее как от синтетических антиоксидантов, так и от других природных соединений.

Библиографический список

1. Bushmeleva K. N., Vyshtakalyuk, A.B., Terenzhev, D.A. and Nikitin, E. Evaluation of seasonal differences in the antioxidant activity of needle juices of *Picea abies* L. and *Pinus sylvestris* L. with luminol-enhanced chemiluminescence //Indian Journal of Agricultural Research. – 2021. – Т. 55. – №. 3. – С. 265-272.

2. Denev P.,Číž, M., Kratchanova, M. and Blazheva, D. Black chokeberry(*Aronia melanocarpa*) polyphenols reveal different antioxidant, antimicrobial and neutrophil-modulating activities //Food chemistry. – 2019. – Т. 284. – С. 108-117.

3. Oszmiański J., Wojdylo A. *Aronia melanocarpa* phenolics and their antioxidant activity //European Food Research and Technology. – 2005. – Т. 221. – №. 6. – С. 809-813.

4. Otakar, R., Jiri, M., Tunde, J., Magdalena, V., Jiri, S., Vojtech, R. and Daniela, K. Phenolic content, antioxidant capacity, radical oxygen species scavenging and lipid peroxidation inhibiting activities of extracts of five black chokeberry (*Aronia melanocarpa* (Michx.) Elliot) cultivars //Journals of Medicinal Plants Research. – 2010.

5. Ozdal T., Capanoglu E., Altay F. A review on protein–phenolic interactions and associated changes //Food Research International. – 2013. – Т. 51. – №. 2. – С. 954-970.

6. Sidor A., Gramza-Michałowska A. Black chokeberry *Aronia melanocarpa* L.—A qualitative composition, phenolic profile and antioxidant potential //Molecules. – 2019. – Т. 24. – №. 20. – С. 3710.

577.152.321:66.018.52

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНОГО ЛИГНИНА НА ВЫХОД САХАРОВ ПРИ ФЕРМЕНТАТИВНОМ ГИДРОЛИЗЕ СОВРЕМЕННЫМИ ПРЕПАРАТАМИ ГЛИКОЗИЛ–ГИДРОЛАЗ

Софья Юрьевна Серкова, Дарья Дмитриевна Иванова
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Аннотация. Изучено влияние содержания остаточного лигнина в волокнистых полуфабрикатах на выход сахаров при ферментативном гидролизе целлюлозы и гемицеллюлоз. Снижение содержания лигнина в целом повышает выход сахаров, при этом наибольшая эффективность гидролиза достигнута для лиственных пород с минимальным содержанием лигнина, однако хвойная сульфитная целлюлоза с высоким содержанием лигнина показала наилучшие результаты при гидролизе на протяжении 48 часов, что связано с ее изначально более высоким содержанием целлюлозы и типом предварительной подготовки сырья. Результаты подчеркивают важность не только степени делигнификации, но и типа химической модификации лигнина для эффективности последующего ферментативного гидролиза полисахаридов различных видов целлюлозных материалов.

Ключевые слова: лигнин, целлюлоза, гидролиз, гликозил-гидролазы, сельское хозяйство, отходы, полуфабрикаты.

THE INFLUENCE OF RESIDUAL LIGNIN ON THE SUGAR YIELDDURING ENZYMATIC HYDROLYSIS WITH MODERN GLYCOSYL–HYDROLASE PREPARATIONS

Sofya Yuryevna Serkova, Daria Dmitrievna Ivanova
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Abstract. The influence of residual lignin content in fibrous semi-finished products on the sugar yield during enzymatic hydrolysis of cellulose and hemicelluloses was studied. A decrease in lignin content generally increases the sugar yield, with the highest hydrolysis efficiency achieved for hardwood pulps with minimal lignin content. However, softwood sulfite pulp with a high lignin content showed the best results after 48 hours of hydrolysis, which is associated with its initially higher cellulose content. The results underscore the importance of not only the degree of delignification but also the type of chemical modification of lignin during the pretreatment processing of the raw material.

Keywords: lignin, cellulose, hydrolysis, glycosyl-hydrolases, agriculture, waste, semi-finished products.

Макромолекулы целлюлозы построены из регулярно повторяющихся звеньев ангидро-D-глюкопиранозы, соединённых между собой β-гликозидной связью, формируют основной структурный компонент растительных клеток. Этот полисахарид играет важную роль для таких отраслей промышленности, как целлюлозно-бумажная, текстильная и пищевая. Для сельского хозяйства целлюлозосодержащие материалы представляют собой крупнотоннажный отход, который ежегодно сжигается без должного применения. Современные биопроцессы, а именно, ферментативный гидролиз полисахаридов и микробная конверсия получаемых сахаров, позволяют не только избежать экономического и экологического ущерба от нерациональной утилизации, но и превратить растительное целлюлозное сырье в ценный продукт, в том числе для агропромышленного комплекса [1].

Однако, серьезное затруднение для гидролиза вызывает наличие лигнина в сырье, так как в клеточной стенке растений он образует достаточно прочную полимерную матрицу с целлюлозой и гемицеллюлозами. Лигнин – это второй по важности трехмерный аморфный ароматический биополимер фенольной природы, чей состав варьируется в зависимости от вида растения. Лигнин в клетках обладает противогрибковыми свойствами, придает прочность и участвует в транспорте воды. Российские и зарубежные ученые разрабатывают различные методы делигнификации целлюлозного сырья, в результате чего получается подготовленный к ферментативному гидролизу субстрат с увеличенной доступностью к целлюлозе и другим полисахаридам. Например, ранее была доказана целесообразность ферментативного осахаривания беленых древесных полуфабрикатов [2,3], однако, расширить ассортимент доступных для глубокого гидролиза субстратов возможно за счет частично делигнифицированных древесных материалов или отходов сельского хозяйства со сходным содержанием лигнина.

Для выбора оптимальной технологии делигнификации требуется сравнение различных методов этого сложного процесса, но необходимо учитывать и природный состав сырья. Целью данной работы является изучение влияния остаточного лигнина в целлюлозосодержащих материалах на продуктивность ферментативного гидролиза препаратами гликозил-гидролаз с использованием модельных делигнифицируемых полуфабрикатов целлюлозно-бумажной промышленности.

В качестве субстратов для эксперимента использовали влажные образцы целлюлозы лиственных и хвойных пород сульфатной варки, и хвойных пород сульфитной варки с различным содержанием лигнина (Таблица 1). Гидролиз проводили в шейкере-инкубаторе Biosan es-20/60 (Biosan, Латвия) при концентрации полуфабрикатов 5 %, pH среды 5,0 и температуре 50°C в течение 24 и 48 часов, с помощью комплекса ферментов гликозил-гидролаз, продуцируемых грибом *P. verruculosum,* с суммарной активностью 8,04 FPA/г а.с.ц. По истечении времени эксперимента гидролизат центрифугировали в течение 1 минуты при 13,4 тыс. оборотов, затем получали очищенный от нерастворимых примесей супернатант, концентрацию глюкозы в котором

измеряли на автоматическом анализаторе глюкозы «Энзискан Ультра» (ООО НПФ «Лабовэй», Россия), а восстанавливающие сахара методом Шомоди-Нельсона по стандартным процедурам [3].

Таблица 1 – Содержание лигнина в образцах

№ образца	Древесина	Тип предподготовки древесины к ферментативному гидролизу	Содержание лигнина, %
1	Береза/осина	Сульфатная варка, промывка	2,6
2	Береза/осина	Сульфатная варка + кислородно-щелочная обработка	1,3
3	Береза/осина	Сульфатная варка + кислородно-щелочная обработка + обработка диоксидом хлора (стадия D_0)	1,0
4	Ель	Сульфатная варка, промывка	4,4
5	Ель	Сульфитная варка, промывка	6,8

Результаты ферментативного гидролиза целлюлозно-бумажных полуфабрикатов в течение 24 часов из лиственных образцов свидетельствуют о том, что самый высокий выход сахаров, 32,2г/л глюкозы и 42,8г/л восстанавливающих сахаров, характерен для образца 3 с содержанием лигнина 1 % (рисунок 1). При этом самый низкий выход, 28,7г/л глюкозы и 31,3г/л восстанавливающих сахаров наблюдается для образца 1, содержащего 2,6 % лигнина, что на 12 % по глюкозе и на 13 % по восстанавливающим сахарам ниже, чем у образца 3.Хвойные целлюлозы сульфатной и сульфитной варки (образцы 4 и 5) по выходу сахаров уступали за 24 часа в сравнении с лиственными. Среди них больший выход, 29,9г/л глюкозы и 32,4г/л восстанавливающих сахаров, показал образец 5, с 6,8 % лигнина. Однако, наибольшая реакционная способность при ферментативном гидролизе на протяжении 48 часов, 37,8г/л глюкозы и 40,8г/л восстанавливающих сахаров, отмечена для хвойной сульфитной целлюлозы (образец 5), что на 3,7г/л глюкозы и 0,3г/л восстанавливающих сахаров больше, в сравнении с образцом 3. Данный факт связан с более высоким изначальным содержании целлюлозы в хвойных полуфабрикатах [2,3]. Однако, наличие большего количества лигнина несколько снижает скорость образования сахаров в ходе гидролиза.

Таким образом, высокое количество остаточного лигнина, с одной стороны, негативно влияет на выход сахаров при ферментативном гидролизе некрахмалистых полисахаридов. С другой – наибольшее влияние при длительном протекании процесса оказывает тип лигнина, модифицирующегося в ходе предварительной подготовки сырья к гидролизу. В результате эксперимента показано, что при содержании лигнина свыше 1 %, сульфированный лигнин в меньшей степени оказывает ингибирующей действие на комплекс гликозил-гидролаз и доступ полисахаридов к гидролизу, чем сульфатный.

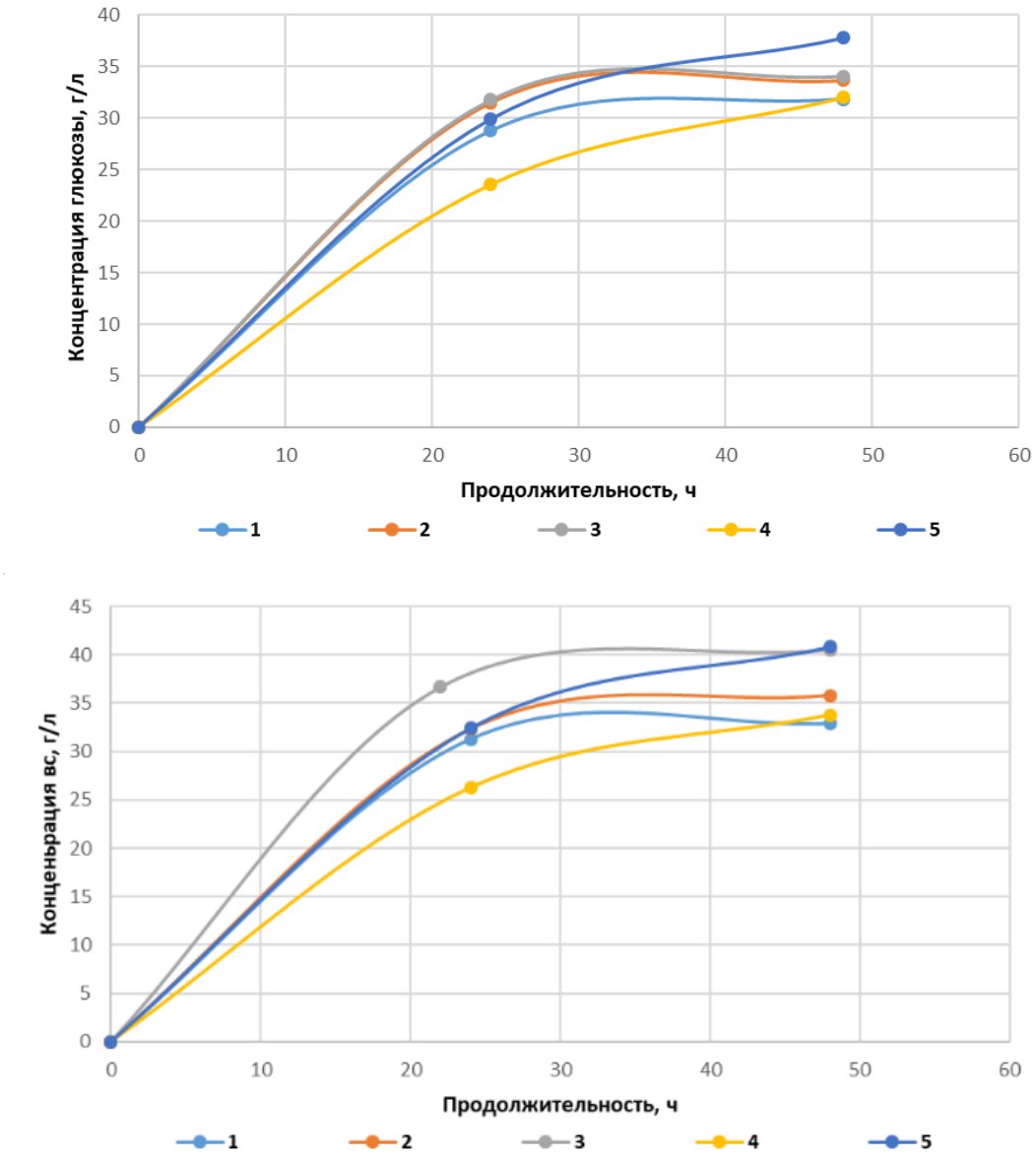


Рисунок 1. Выход глюкозы и восстанавливающих сахаров в ходе ферментативного гидролиза

Библиографический список

1. Saberi Riseh R. Agricultural wastes: A practical and potential source for the isolation and preparation of cellulose and application in agriculture and different industries [Текст] / R. S. Riseh, M. Gholizadeh Vazvani, M. Hassanisandi, V. K. Thakur // Industrial Crops and Products. – 2024. – Vol. 208. – Art. 117904. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2023.117904.

2. АксеновА.С. Ферментативнаяконверсияпромышленныхцеллюлозно-бумажныхполуфабрикатов [Текст] / А.С. Аксенов, И.Г. Синельников, А.Р. Шевченко, К.А. Майорова, Д.Г. Чухчин, Д.О. Осипов, М.В. Семёнова, О.А. Синицына, А.М. Рожкова, Е.В. Новожилов, А.П. Синицын // Прикладнаябиохимияимикробиология. – 2024. – Т. 60, № 3. – С. 274-283. – DOI: 10.31857/S0555109924030068.

3. Aksenov A.S. Biocatalysis of Industrial kraft pulps: similarities and differences between hardwood and softwood pulps in hydrolysis by enzyme complex

of *Penicillium verruculosum* [Текст] / A.S. Aksenov, I.V. Tyshkunova, D.N. Poshina, A.A. Guryanova, D.G. Chukhchin, I.G. Sinelnikov, K.Y. Terentyev, Y.A. Skorik, E.V. Novozhilov, A.P. Sinitsyn // Catalysts. – 2020. – Vol. 10, No. 5. – P. 536. – DOI: 10.3390/catal10050536.

УДК 547.777
УДК 631.547

ПОЛИМЕРНЫЕ НОСИТЕЛИ НА ОСНОВЕ КРИОГЕЛЕЙ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА С ДОБАВКАМИ ПРОИЗВОДНЫХ АУКСИНОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Виктория Андреевна Ли[1], Ольга Юрьевна Колосова[2], Наталия Анатольевна Быстрова [2], Владимир Иосифович Лозинский[2]
[1]Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, г. Москва
[2]Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова РАН, г. Москва

Аннотация. В работе рассмотрено получение физических нековалентныхкриогелей поливинилового спирта с добавками ауксинов – производных индольной кислоты. Оценены физико-химические свойства полученных гелевых материалов. Показано, что криогели поливинилового спирта могут применяться в области сельского хозяйства в качестве носителей ауксинов.

Ключевые слова: криогели поливинилового спирта, поливиниловый спирт, ауксины, сельское хозяйство, биотехнология.

POLYMER CARRIERS BASED ON POLY(VINYL ALCOHOL) CRYOGELS WITHADDITIVES OF AUXIN DERIVATIVES FOR AGRICULTURE

Victoria Andreevna Lee, Olga Yurievna Kolosova, Nataliya Anatolievna Bystrova, Vladimir Iosifovich Lozinsky

Abstract. In this work the preparation of physical non-covalent cryogels of poly(vinyl alcohol) with additives of auxins — derivatives of indole acidwere studied. The physicochemical properties of the obtained gel materials were evaluated. It was demonstrated that poly(vinyl alcohol) cryogels can be used in agriculture as carriers for auxins.

Key words: poly(vinyl alcohol) cryogels, poly(vinyl alcohol), auxins, agriculture, biotechnology.

Криогели поливинилового спирта (КГПВС) – гетерофазные макропористые полимерные гели, которые образуются в результате «замораживания-оттаивания» растворов поливинилового спирта. Эти материалы перспективны для сельскохозяйственного применения благодаря их способности снижать негативные факторы, ухудшающие структуру почвы, а

также способствовать увеличению урожайности и улучшению качества сельскохозяйственных культур [1, 5]. Возможность введения биологически активных веществ (БАВ) в матрицу КГПВС позволила бы контролировать процесс их высвобождения, а также снизить частоту поливов почвы [3,4].

КГПВС могут выступать в качестве носителей производных ауксинов (IAA, IBA). Соединения данного класса являются универсальными регуляторами роста растений, которые влияют на клеточное деление, растяжение, морфогенез, образование и рост корней.

В данном исследовании методом «замораживания-оттаивания» были получены криогели поливинилового спирта, содержащие добавки производных индольной кислоты в основной и солевой формах в разных концентрациях.

Для полученных образцов была проведена оценка упругости и теплостойкости, а также изучена динамика высвобождения производных индольной кислоты из полимерной матрицы носителя в водное окружение.

Также были проведены исследования на биологическую активность КГПВС с добавками ауксинов, концептуальная схема опыта представлена на рис. 1.

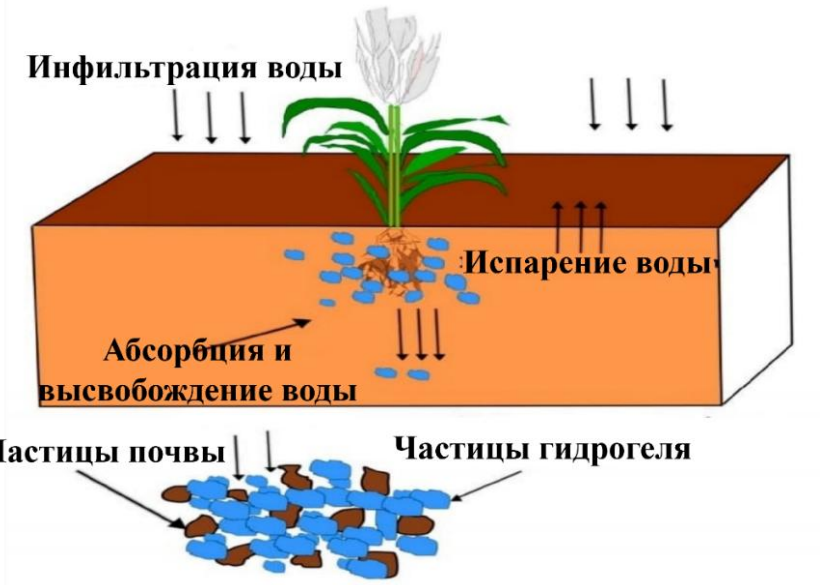


Рисунок 1. Концептуальная схема изучения биологической активности КГПВС с добавками ауксинов [2]

Исследования проводились в течение 10 дней на семенах пшеницы (*Triticum aestivum L.)* сорта «Агата®-2023». Анализ экспериментальных данных показал, что введение производных IAAи IBA в полимерную матрицу КГПВС не приводит к изменению их биологической активности, т.е. производные ауксинов способствуют росту и развитию корневой системы пшеницы (рисунок 2). Также введение данных биологически активных веществ в полимерную матрицу криогелей позволяет снизить частоту поливов.

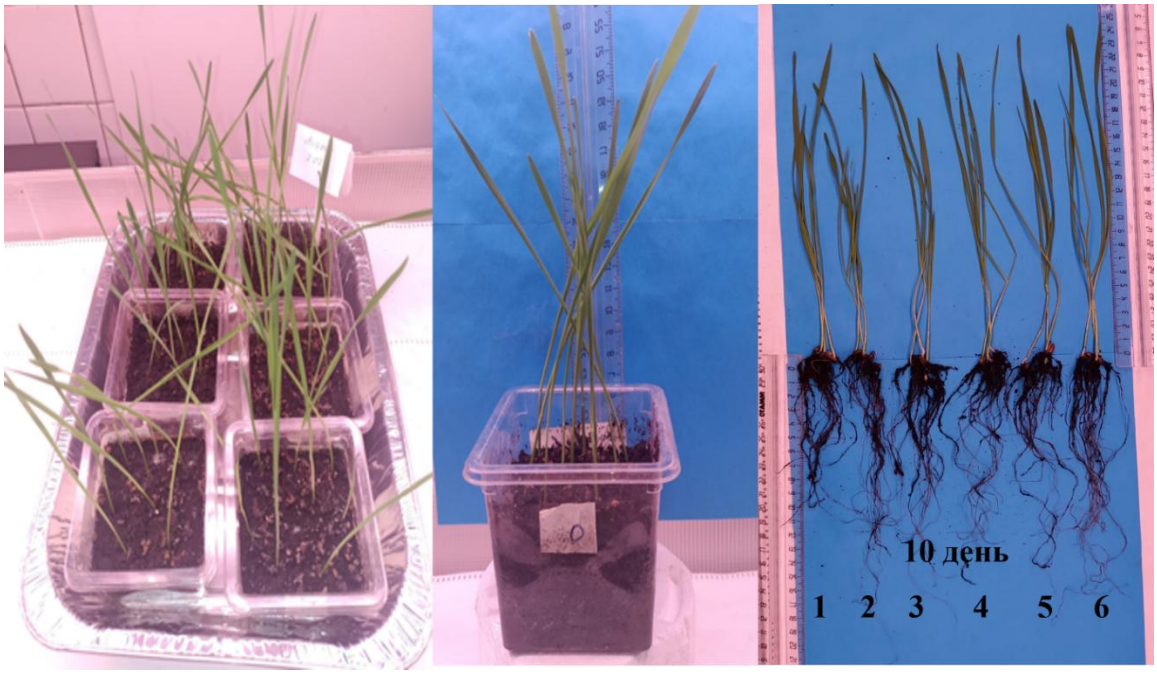


Рисунок 2. Исследование влияния калиевой соли индолил-3-масляной кислоты на развитие семян пшеницы: 1 – без обработки; 2 – КГПВС + 4×10-2 М; 3 – КГПВС + 4×10-3 М; 4 – КГПВС + 4×10-4 М; 5 – КГПВС + 4×10-5 М

Экспериментальные данные показали, что развитие корневой системы образцов пшеницы №1,3 – 5 протекало по ауксиновому механизму, т.е. были сформированы корневые волоски на основном и боковых корнях. У образцов контрольной группы и образцов №2 корневые волоски отсутствовали, что может быть следствием слишком высокой концентрации ауксинов, которая и мешала активному развитию корневой системы пшеницы.

Таким образом, использование криогелей поливинилового спирта в качестве полимерного носителя производных ауксинов (IAA, IBA) способствует снижению частоты орошений почвы.

Библиографический список

1. Лозинский В.И. Криогели на основе природных и синтетических полимеров: получение, свойства и области применения // Успехи химии. — 2002. — Т. 71, № 6. — С. 559–585.

2. Adjuik T. A., et. al. The Impacts of Bio-Based and Synthetic Hydrogels on Soil Hydraulic Properties: A Review // Polymers. — 2022. — Vol. 14, № 21. — 4721.

3. Baran A., et al. Hydrophysical and Biological Properties of Sandy Substrata Enriched with Hydrogel // Polish Journal of Environmental Studies. — 2015. — Vol. 24, № 6. — P. 2355–2362.

4. Ma L., et al. Hydrogels as the plant culture substrates: A review // Carbohydrate Polymers. — 2023. — Vol. 305. — 120544.

5. Tariq Z., et al. Significance of biopolymer-based hydrogels and their applications in agriculture: a review in perspective of synthesis and their degree of swelling for water holding // RSC Advances. — 2023. — Vol. 13, № 35. — P. 24731–24754.

УДК 633/635

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОТХОДА ДЛЯ УДОБРЕНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО

Анатолий Михайлович Никоноров, Василий Борисович Троц,
Наталья Михайловна Троц
Самарский государственный аграрный университет, г. Кинель

Аннотация. *В статье приводятся результаты полевого опыта по выявлению эффективности использования калий содержащего глинисто-солевого шлама (ГСШ) в качестве удобрения под посевы кукурузы.*

Ключевые слова: кукуруза, зерно, урожай, орошение, технология выращивания, чернозем.

USE OF INDUSTRIAL WASTE FOR FERTILIZING CORN GRAIN

Anatoly Mikhailovich Nikonorov, Vasily Borisovich Trots,
Natalia Mikhailovna Trots
Samara State Agrarian University, Kinel, Russia

Annotation. The article presents the results of a field experiment to identify the effectiveness of using potassium-containing clay-salt sludge as fertilizer for corn crops.

Keywords: corn, grain, harvest, irrigation, cultivation technology, chernozem.

Введение. По мнению многих специалистов в качестве минерального удобрения в сельском хозяйстве можно использовать побочные продукты химической промышленности, в частности калий содержащий глинисто-солевой шлам (ГСШ)ООО «ЕвроХим-Проект». Но, научные исследования по использованию ГСШ в условиях Самарской области не проводились, что обуславливает их актуальность и большую практическую значимость [1,2].

Цель работы – выявить влияние калийсодержащего глинисто-солевого шлама (ГСШ) на урожайность кукурузы на зерно.

Материалы и методы исследований. Эксперименты проводились 2023-2024 гг. на шестом поле орошаемого севооборота ООО «Сев07». Почва – чернозём обыкновенный слабо солонцеватый среднесуглинистый с мощностью гумусового горизонта до 60-70 см и содержанием гумуса в верхнем слое почвы (0-30 см)- 4,8 %.Схема опыта включала следующие варианты:1. Контроль (без удобрения); 2. Внесение $N_{60}P_{60}$(Фон); 3. Фон + ГСШ 400 кг/га; 4. Фон +ГСШ 600 кг/га; 5. Фон + ГСШ 800 кг/га; 6. Фон + ГСШ 1200 кг/га;7. Фон + ГСШ 1600 кг/га. Все варианты опыта размещались при естественном увлажнении почвы и в условиях орошения. Агротехника в опыте была типичной для кукурузы возделываемой в южной агроклиматической зоне Самарской области.

Предшественником являлась озимая пшеница. Метеорологические условия в годы исследования отличались жаркой и сухой погодой, В вегетационный период 2023 года ГТК составил 0,42 единиц, а в 2024 году – 0,57. Экспериментальная работа проводилась с учетом действующих методик опытного дела [3,4,5].

Результаты исследований. Выявлено, что кукуруза даже при существенном дефиците атмосферной влаги и без внесения минеральных удобрений, способна формировать в условиях южной зоны Самарской области, урожаи зерна – на уровне 6,80 т с 1 га. Внесение расчетных норм $N_{60}P_{60}$ повышает продуктивность растений на богаре в среднем на 10,5%. Добавление к внесенному в почву азоту и фосфору еще и калия в форме ГСШ в норме 400 кг/га доводит сборы зерна до 8,00 т с 1 га, что на 17,6%, больше контрольного значения. Дальнейшее увеличение нормы ГСШ – до 600 кг/га (вариант 4) способствовало росту урожайности зерна еще на 3,8% - до 8,26 т/га, что на 21,4% больше контрольного индекса. Применение ГСШ в норме 800 кг/га (вариант 5) обуславливало рост сборов зерна с единицы площади – до 8,59 т/га, это на 4,9 % выше значения предыдущего варианта 4.С повышением норм внесения ГСШ – до 1200 кг/га и 1600 кг/га урожайность зерна росла до 8,95 т/га и 9,14 т/га, что на 31,6% и 34,4% больше контрольного индекса.

Анализ данных в орошаемых вариантах показал, что в варианте 3,урожайность зерна возрастает на 17,8%, а в варианте 4 - на 22,1% по отношению к контрольному индексу. Внесение в почву ГСШ в норме 800 кг/га (вариант 5) обеспечивало получение сборов зерна с 1 га – 12,89 т/га, что на 27,0% больше показателя контрольного посева и на 12,1% значения фонового варианта 2.Однако внесение в почву повышенных норм ГСШ 1200 кг/га и 1600 кг/га позволяло максимально увеличить сборы зерна с 1 га, по сравнению с контролем, - на 30,5% и 36,4%, соответственно - до 13,30 т/га и 13,80 т/га.

Внедрение в производство новых агротехнический мероприятий должно быть экономически оправдано. Расчетами в нашем опыте установлено, что внесение минеральных удобрений и ГСШ, требовало дополнительных материальных и денежных затрат, которые в фоновом варианте опыта (вариант 2) увеличились по сравнению с контролем на 5,5 тыс. руб./га. В вариантах с внесением ГСШ в норме 400 кг/га (вариант 3) и 600 кг/га (вариант 4) они повышались соответственно на 10,1тыс. руб./га и 12,1 тыс. руб./га. Но дополнительная прибавка продукции от внесения данных нормы ГСШ оказалось не сравнительно невысокой, в результате показатель рентабельности производства не превысил контрольного значения. Он составил только 107,3% и 107,6%, против 108,2% - в контрольном варианте. По мере увеличения нормы применения ГСШ – до 800 кг/га (вариант 5) уровень рентабельности превышал контрольный показатель и достигал 110,0%. Но привнесение ГСШ в норме 1200 кги 1600 кг/га рентабельность производства снова снижалась соответственно- до 107,7% и 100,3%.

Анализ экономических показателей в вариантах с орошаемыми растениями кукурузы показал, что не смотря на значительные

производственные затраты они полностью окупаются дополнительной продукцией с уровнем рентабельности производства 127,6-144,8%. При этом максимальный показатель рентабельности производства был получен в 5 варианте опыта, где к фоновому количеству азотного и фосфорного удобрения ($N_{60}P_{60}$) добавлялось 800 кг/га калий содержащего глинисто-солевого шлама (ГСШ).

Выводы:

1. Внесение в почву калий содержащего глинисто-солевого шлама (ГСШ) на фоне $N_{60}P_{60}$, достоверно обеспечивает прибавку урожая зерна кукурузы даже без орошения в пределах 1,20-2,24 т с 1 га, что 17,6-34,4% больше неудобренного варианта. При внесении только азотно-фосфорного удобрения прибавка урожайности зерна кукурузы равно лишь 0,72 т/га, или 10,5% от контроля.

2. Искусственное поддержание оптимальной влажности почвы под кукурузой позволяет увеличить ее урожайность, по отношению к неорошаемому участку в среднем на 48,6-50,9 % - до 10,11-13,80 т/га с дополнительным сбором зерна с 1 га от 1,80т до 3,69 т.

3. Максимальные сборы зерна кукурузы с 1 га как на участке без орошения, так и при орошении обеспечивают варианты с внесением на фоновом уровне азотно-фосфорных удобрений еще и ГСШ в норме 1200 кг/га и 1600 кг/га соответственно – 8,95 т/га; 9,14 т/га и – 13,20 т/га и 13,80 т/га.

4. Внесение калий содержащего глинисто-солевого шлама (ГСШ) под кукурузу гибрида Амовит в нормах 400 кг/га, 600 кг/га, 800 кг/га, 1200 кг/га и 1600 кг/га в условиях южной агроклиматической зоны Самарской области полностью окупается полученным условно чистым доходом с уровнем рентабельности производства, в условиях богары 100,3-110,0%, а при орошении – 136,6-144,8%. Причем как в посевах не орошаемого участка, так и при орошении экономически оптимальной нормой внесения ГСШ является 800 кг/га.

Библиографический список

1. Никаноров А.М., Троц В.Б., Троц Н.М. Влияние нетрадиционного калийно-натриевого удобрения на продолжительность вегетации кукурузы на зерно // Научное обоснование оптимизации технологий в АПК. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. - Ижевск, 2024. - С. 155-162.

2. Троц В.Б., Троц Н.М. Приемы поддержания баланса гумуса в севооборотах АО «Нива» Ставропольского района Самарской области //Актуальные вопросы агрономии. Материалы Национальной научно практической конференции. - Ижевск, 2023. – С. 144-152.

3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5 изд., перераб. и доп.- М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

4. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями / ВАСХНИЛ, ВНИИ удобрений и агропочвоведения им. Д. Н. Прянишникова. - М.: ВИУА, 1983. - 22 с.

5. Методические требования к полевому опыту. [Электронный ресурс]: - Режим доступа:https: //poznayka.org/s65985t2.html (дата обращения 12.05.2023 г.).

577.21:582.23:620.9

BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS OF MICROALGAE FOR WATER, ENERGY, AND SUSTAINABLE AGRICULTURE

Osayogie Osazemen Godswill, PhD student
Institute of Environmental Engineering
RUDN University, Moscow, Russia

Abstract. Microalgae are emerging as multifunctional biotechnological resources capable of addressing key challenges in agriculture and environmental management. This paper presents an integrated biotechnological approach to water purification, renewable energy, and sustainable agriculture. Their ability to remove pollutants through phycoremediation, generate biomass for biofuel, and provide residual material as biofertilizer positions them as multifunctional biofactories. Integrating microalgae is crucial as it directly addresses today's pressing challenges of clean water, renewable energy, and sustainable agriculture. This paper highlights recent progress in these areas, especially their use in regions with limited resources.

Keywords: microalgae, biotechnology, wastewater treatment, biofuel, biofertilizer, sustainability, agriculture, circular bioeconomy.

Introduction. Microalgae are microscopic photosynthetic organisms that play an important role in global ecosystems and are increasingly recognized for their potential in biotechnology. They are able to capture nutrients, carbon dioxide, and produce diverse bioactive compounds of agricultural value. These properties make them important candidates for addressing modern challenges in wastewater treatment, renewable energy, and sustainable agriculture. In many developing countries, particularly in Africa, chemical inputs in agriculture are costly and often harmful to ecosystems. Microalgae offer an environmentally friendly alternative by providing biofertilizers, biostimulants, and soil amendments. They can also be cultivated in wastewater, simultaneously reducing environmental pollution and establishing a closed-loop system that produces biomass for energy generation and agricultural applications [1,2].

Aim. This paper reviews the integrated applications of microalgae in wastewater treatment, biofuel production, and agricultural biofertilizers. It highlights recent progress and practical opportunities, particularly fordeveloping regions.

Materials and Methods. This research is based on a systematic literature review of scientific articles, reports, and case studies published over the last 15 years. Databases such as Scopus, Web of Science, and Google Scholar were consulted. The review focus was on:

1. Microalgae-based wastewater treatment systems (phycoremediation).
2. Microalgal biomass conversion into biofuels (lipid extraction and transesterification).
3. Application of microalgal biomass and extracts as biofertilizers.

Data were synthesized to identify major benefits, limitations, and knowledge gaps. Case studies were also compared to evaluate the adaptability of technologies to different climatic and economic conditions.

Results

1. Wastewater Treatment

Microalgae efficiently remove nitrogen, phosphorus, and heavy metals from municipal and industrial wastewater. They alsogeneratebiomass as a byproduct. Their combined capacity for remediation and resource generation positions them as a powerful sustainable solution [3].

Table 1 – Efficiency of Microalgae in Nutrient Removal

Pollutant	Average Removal	Reference
Nitrogen	70–90%	[3]
Phosphorus	60–85%	[4]
Heavy metals	50–75%	[5]

2. Biofuel Production

Microalgae can accumulate lipids up to 60% of their dry weight under stress conditions, making them promising feedstock for biodiesel production. Additionally, residual biomass after lipid extraction can be converted into bioethanol, biogas, or biohydrogen [6].

3. Agricultural Biofertilizers

Microalgal residues and extracts serve as biofertilizers and biostimulants, improving soil fertility, enhancing plant growth, and reducing dependence on chemical fertilizers. Field trials in Asia and Europe have demonstrated significant yield improvements in crops such as rice, wheat, and vegetables [7]. These practices align with global efforts toward sustainable agriculture and reduced greenhouse gas emissions. For developing countries, adopting microalgal biotechnology could lower production costs, restore degraded soils, and improve food security.

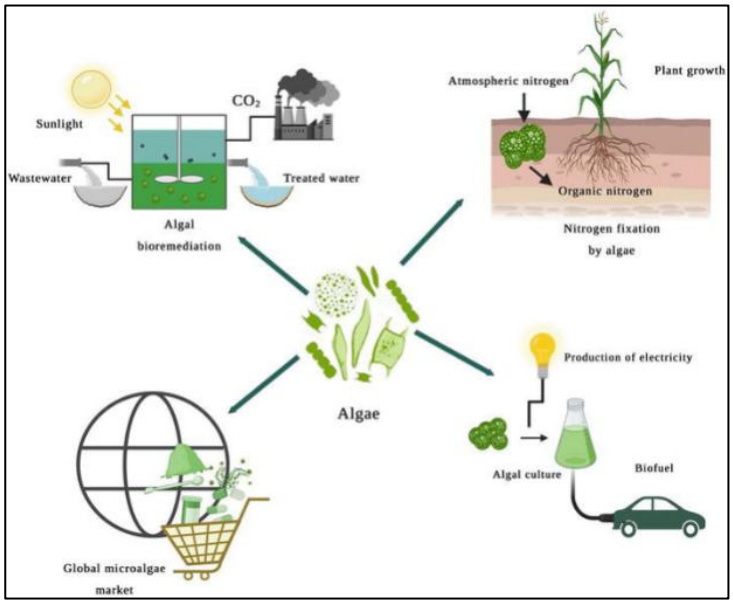


Figure: Microalgae applications for sustainability [2]

Conclusions

Microalgae represent a triple-benefit biotechnology, capable of addressing critical agricultural challenges through integrated water remediation, renewable energy generation, and soil fertility enhancement. Their application supports the development of a circular bioeconomy in which waste is converted into valuable resources. Future research should emphasize cost-effective cultivation technologies, region-specific strain development, and pilot-scale validation.

Reference

1. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. Biotechnology Advances. 2007;25(3):294–306.
2. Rawat I, Ranjith Kumar R, Mutanda T, Bux F. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels. Applied Energy. 2011;88(10):3411–3424.
3. Cai T, Park SY, Li Y. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2013;19:360–369.
4. Renuka N, Sood A, Ratha SK, Prasanna R, Ahluwalia AS. Evaluation of microalgal consortia for treatment of sewage effluent and biomass production. Journal of Applied Phycology. 2013;25:1529–1537.
5. Abomohra AEF, Jin W, Tu R. Microalgal biomass production as a sustainable feedstock for biodiesel: Current development and future perspectives. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016;64:596–606.
6. Brennan L, Owende P. Biofuels from microalgae—A review of technologies for production, processing, and extraction. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2010;14(2):557–577.
7. Chew KW, Yap JY, Show PL, et al. Microalgae biorefinery: High value products perspectives. Bioresource Technology. 2017;229:53–62.