doi:10.18286/1816-4501-2026-3-70-76
УДК 633.521

Влияние культурального фильтрата штаммов возбудителя антракноза (*Colletotrichum lini*) на морфогенез льна в культуре пыльников *in vitro*

Н. В. Пролётова✉, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
В. С. Зотова, младший научный сотрудник
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 172002, РФ, Тверь, Комсомольский проспект, 17/56
✉n.proletova.trk@fnclk.ru

Резюме. Одним из перспективных направлений научного обеспечения селекционного процесса льна является использование клеточной селекции (селекции *in vitro*) для создания новых уникальных форм с заданными признаками. Поэтому целью исследований являлось изучение эффективности использования культуры пыльников в селективных условиях для отбора устойчивых клеток и создания новых устойчивых форм льна. Проведение экспериментов осуществляли в ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Торжок, Тверская область) в 2019-2020, 2025 гг. Лабораторные исследования выполняли в соответствии с действующими методиками. В результате исследований разработан и апробирован состав селективной среды, при использовании которой у генотипов льна на основе пыльниковых эксплантов (1 пассаж) формируется наибольшее количество морфогенного каллуса – все элементы питательной среды Sh-2 + культуральный фильтрат штаммов 848, 850, 855 и 853 гриба *Colletotrichum lini* в концентрации 0,1, 0,5, 1,0 мл/л. Больше всего каллусов на селективной среде сформировано у генотипов НО-65 (от 6,6 до 7,5 %, в зависимости от концентрации КФ) и 0-12-601-6-3-2 (от 3,2 до 4,5 %, в зависимости от концентрации КФ). На среде без КФ у этих генотипов также получено наибольшее количество пыльников с каллусами (9,6 и 5,4 %, соответственно) и они оказались более лояльными к условиям *in vitro.* Установлено, что во 2 пассаже с повышением концентрации КФ от 1,0 до 5,0 мл/л у всех генотипов, кроме 0-12-601-6-3-2 и 0-12-601-5-1-1, отмечено снижение количества сформированных морфогенных очагов. При концентрации КФ 4,0 мл/л количество морфогенных каллусов значительно снижалось с 19…38 % до 7…8 % у линий Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, 0-12-601-5-1-1 и с 35…50 % до 15…18 % – у НО-65 и 0-12-601-6-3-2. При концентрации КФ 5,0 мл/л морфогенные очаги не формировались, либо формировались в малых количествах (0,3…0,5 шт./каллус у НО-65, 0-12-601-6-3-2, Л 2053-6-10). Каллусные клетки при такой концентрации КФ в среде культивирования быстро оводнялись, становились бледно зелёными и впоследствии темнели. Наиболее жизнеспособные морфогенные клетки и в большем количестве во втором пассаже формировались у формы НО-65 и линии 0-12-601-5-1-1. Получены регенеранты – дигаплоиды.

Ключевые слова: лён (*Linum usitatissimum L.*), пыльник, каллус, селективная среда, штамм, антракноз (*Colletotrichum lini*), селекция *in vitro.*

Для цитирования: Пролетова Н. В., Зотова В. С. Влияние культурального фильтрата штаммов возбудителя антракноза (*Colletotrichum lini*) на морфогенез льна в культуре пыльников *in vitro* // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 3 (75). С. 70-76. doi:10.18286/1816-4501-2026-3-70-76

The effect of culture filtrate of anthracnose strains (*Colletotrichum lini*) on flax morphogenesis of in vitro anther culture

N.V. Proletova✉, V.S. Zotova
FSBEI Federal Scientific Center of Bast Crops
172002, Russian Federation, Tver, Komsomolsky Ave, 17/56, E-mail: ✉n.proletova.trk@fnclk.ru

Abstract. One promising area of scientific support for flax breeding is the use of cell selection (in vitro selection) to create new, unique varieties with desired traits. Therefore, the aim of this research is to study the efficiency of using anther culture under selective conditions to select resistant cells and create new resistant varieties of flax. The experiments were conducted at the Federal Scientific Center of Bast Crops (Torzhok, Tver Region) in 2019-2020 and 2025. Laboratory studies were conducted in accordance with current methods. As a result of the research, the composition of a selective medium was developed and tested, when used in flax genotypes based on anther explants (1 passage), the greatest amount of morphogenic callus is formed - all elements of the Sh-2 nutrient medium + culture filtrate of strains 848, 850, 855 and 853 of the Colletotrichum lini fungus at a concentration of 0.1, 0.5, 1.0 ml / l. The largest number of calli on the selective medium was formed in the genotypes HO-65 (from 6.6 to 7.5%, depending on the concentration of CF) and 0-12-601-6-3-2 (from 3.2 to 4.5%, depending on the concentration CF ratios). On a medium without CF, these genotypes also produced the highest number of anthers with calli (9.6 and 5.4%, respectively) and were more tolerant to in vitro conditions. It was established that with an increase in the CF concentration from 1.0 to 5.0 ml/l in the second passage, a decrease in the number of formed morphogenic foci was noted in all genotypes except 0-12-601-6-3-2 and 0-12-601-5-1-1. At a CF concentration of 4.0 ml/l, the number of morphogenic calli significantly decreased from 19-38% to 7-8% in the lines L 2053-5-11, L 2053-6-10, 0-12-601-5-1-1 and from 35-50% to 15-18% in NO-65 and 0-12-601-6-3-2. At a CF concentration of 5.0 ml/l, morphogenic foci were not formed or were formed in small quantities (0.3-0.5 pcs./callus in NO-65, 0-12-601-6-3-2,

L 2053-6-10). At this concentration of CF in the cultivation medium, callus cells quickly became hydrated, became pale green and subsequently darkened. The most viable morphogenic cells and their higher numbers in the second passage were formed in the HO-65 form and the 0-12-601-5-1-1 line. Dihaploid regenerants were obtained.
Keywords: flax (Linum usitatissimum L.), anther, callus, selective medium, strain, anthracnose (Colletotrichum lini), in vitro selection.
For citation: Proletova N.V., Zotova V.S. The effect of culture filtrate of anthracnose strains (*Colletotrichum lini*) on flax morphogenesis of in vitro anther culture // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.3 (75): 70-76 doi:10.18286/1816-4501-2026-3-70-76

Исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS-2024-0005.

Введение

Лён-долгунец – одна из значимых культур, которую возделывают в Российской Федерации, да и во всём мире для получения волокна, используемого в различных отраслях и производствах. Также востребованы семена льна-долгунца, из которых получают масло с высоким уровнем содержания полиненасыщенных жирных кислот (свыше 50 %), являющееся незаменимым сырьем при производстве лаков и красок [1, 2]. Для получения качественной льнопродукции и решения проблемы сырьевого обеспечения страны селекционерами ежегодно создаются новые сорта льна-долгунца с высоким урожаем волокна и семян и устойчивостью к болезням [3-5]. Однако расовый состав возбудителей болезней постоянно меняется вследствие ежегодного варьирования климатических условий, особенно на территории Центрального и Северо-Западного регионов Российской Федерации. В связи с этим устойчивость сортов льна к патогенам (кроме ржавчины, возбудитель *Melampsora lini*) тоже ежегодно изменяется [6, 7]. К одной из наиболее опасных болезней, проявляющихся в последние годы ежегодно, относится и антракноз льна, возбудителем которого является гриб *Colletotrichum lini,* паразитирующий на семенах льна и растительных остатках. Два сорта льна-долгунца, устойчивые к антракнозу (устойчивость 57…65 %), в зависимости от климатических условий вегетационного периода и, соответственно, проявления болезни, ежегодно изменяют устойчивость с поражением посевов до 75 % и более. При этом у всех сортов льна снижается качество льнопродукции на 30 % и более [8].

Селекция на устойчивость к этому патогену ведётся в ФГБНУ ФНЦ ЛК, однако зависимость возбудителя от климатических условий не позволяет создавать стабильно устойчивые к нему сорта льна. Для решения проблемы устойчивости проводятся биотехнологические исследования и разработана эффективная селективная система «гриб *Colletotrichum lini* - лён» с использованием культурального фильтрата штаммов возбудителя антракноза и эмбриокультуры. Вместе с тем, созданные в результате исследований устойчивые формы проявляют устойчивость лишь к штаммам, использованным в исследованиях. При появлении новых штаммов антракноза устойчивость меняется и, к сожалению, в сторону её снижения [9, 10].

Культура пыльников *(in vitro)* – это биотехнологический метод выращивания растений из изолированных пыльников (содержащих микроспоры) на искусственной питательной среде для получения гаплоидов. Этот метод является одним из ключевых инструментов современной селекции растений и широко используется в селекции для быстрого создания чистых линий и гибридов F_1, позволяя получить гомозиготные растения за один-два поколения, что значительно быстрее традиционных методов [11, 12]. Однако низкая отзывчивость некоторых генотипов, сложность подбора условий (состав среды, стадия микроспор), высокий риск регенерации соматических тканей (негаплоидных) не позволяют широко использовать этот метод [13, 14]. С использованием культуры пыльников созданы регенеранты льна-долгунца, устойчивые к фузариозному увяданию, однако эффективность клеточной селекции была очень низкой [15].

Цель исследований – изучение эффективности использования культуры пыльников в селективных условиях для отбора устойчивых клеток и создания новых, устойчивых к антракнозу форм льна.

Материалы и методы

Исследования проводили в лаборатории селекционных технологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (г. Торжок, Тверская область) в 2019-2020, 2025 гг. Предметом исследований являлись линии льна, в том числе, созданные в культуре *in vitro*. Объект исследований – культивирование пыльников льна на селективной среде с последующим отбором морфогенных очагов и переносом их на свежие селективные и неселективные среды для формирования побегов и растений-регенерантов.

Эксперименты проводили в соответствии с существующими методиками, разработанными автором с коллегами [16].

Штаммы гриба – возбудителя антракноза *Colletotrichum Lini* Manns et Bolley 848, 850 (сильновирулентных), 855 (средневирулентного) и 853 (слабовирулентного) выращивали на модифицированной жидкой питательной среде Sh-2 [17] без добавления регуляторов роста в течение 40-ка суток. После чего мицелий отфильтровывали через бумажный фильтр (фильтровальная бумага), разливали порционно по 200 мл в колбы и хранили в морозильной камере при температуре -18º. Перед применением колбы с содержимым размораживали, определяли токсичность культурального фильтрата, отмеряли одинаковое количество фильтрата каждого штамма, смешивали и добавляли в питательную среду Sh-2 в нужных концентрациях перед автоклавированием.

Готовую селективную среду разливали в биологические пробирки, автоклавировали при 0,75 Атм 2 раза по 15 минут со спуском пара до 0. Горячие пробирки раскладывали на «косой срез», давали остыть до затвердевания среды, после чего в них культивировали изолированные пыльники.

Донорные растения используемых генотипов для получения бутонов выращивали в вегетационном домике в сосудах Митчерлиха. Почву «набивали» в сосуды в первой декаде мая. В почву перед посевом вносили минеральные удобрения (азофоска – 1,5 г/сосуд, ОМУ – 0,6 г/сосуд), тщательно перемешивали, маркировали специальным маркером для сосудов, проливали водопроводной водой и проводили посев семян (по 50 шт./сосуд). В течение вегетации растения поливали и фиксировали к колышкам, предотвращая полегание.

Бутоны на стадии пыльников «одноядерная вакуолизированная микроспора» (рис. 1 а) отделяли от растений, переносили в лабораторные условия ламинарного бокса. Проводили стерилизацию 70 %-м этанолом в течение 1…2 минут, после чего бутоны помещали в 1 %-ный раствор хлорамина и выдерживали в нём 15 минут, постоянно встряхивая. Раствор после стерилизации сливали, бутоны промывали стерильной дистиллированной водой, меняя её три раза. Пыльники извлекали из бутонов и переносили их на питательную и селективные (содержащие культуральный фильтрат штаммов возбудителя антракноза в различных концентрациях) среды (рис. 1 б). Культивировали пыльники до формирования каллусов с морфогенными очагами. Каллусы извлекали из пробирок и переносили на свежие питательные и селективные среды.



а б

Рис. 1. Бутоны льна-долгунца на стадии развития пыльников «одноядерная вакуолизированная микроспора» и пыльники, изолированные из бутонов а) бутоны, готовые для изолирования и культивирования на питательную и селективную среду, б) пыльники

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программного пакета *Microsoft Excel* 2021 (США) методом определения выборочного среднего значения и коэффициента корреляции по Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта* (с *основами статистической обработки результатов исследований. 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с. ил.*).

Результаты

Для проведения исследований необходимо первоначально определить степень токсичности используемых культуральных фильтратов (КФ) по реакции генотипов Союз и НО-65. В результате исследований установлено, что наибольшей токсичностью обладали КФ штаммов 848 и 855. Загнивание и отмирание первичных корешков, как показано в таблице 1, наблюдали у 87,4…89,0 % проростков восприимчивого сорта Союз, у 65,0…65,9 % проростков – устойчивой формы НО-65. Токсичность КФ штаммов 850 и 853 была на уровне 63,3…64,5 % – для сорта Союз и 51,3…56,3 % – для НО-65. Несмотря на различную вирулентность, все штаммы были достаточно токсичными. Вместе с тем возможность отбора на селективном фоне была высокой, поэтому КФ могли использоваться для создания селективной среды при селекции *in vitro.*

Таблица 1. Токсичность культуральных фильтратов штаммов гриба – возбудителя антракноза льна

Штамм	Количество загнивших и отмерших первичных корешков, % ±Sp	
	Союз	НО-65
848 сильновирулентный	89,0 ± 0,2	65,9 ± 0,5
850 сильновирулентный	63,3 ± 0,5	56,3 ± 0,8
855 средневирулентный	87,4 ± 0,6	65,0 ± 0,3
853 слабовирулентный	64,5 ± 0,6	51,3 ± 0,6

На начальном этапе селекции *in vitro* были использованы концентрации КФ 0,1, 0,5, 1,0 мл/л. Такие концентрации фузариевой кислоты в селективной среде использовали авторы ранее для культивирования пыльников при селекции *in vitro* на устойчивость льна к фузариозному увяданию. Результаты исследований показали, что при культивировании изолированных пыльников на селективной среде часть пыльниковых эксплантов у всех генотипов, кроме сорта Союз, начинала развиваться и формировать каллус в селективных условиях (рис. 2).

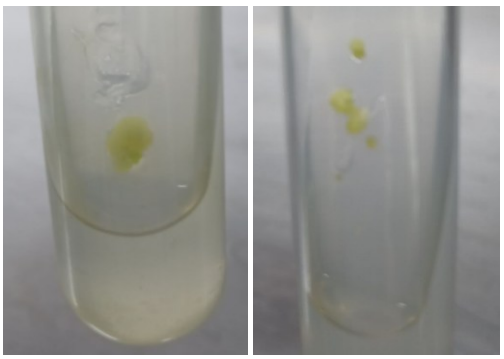


Рис. 2. Формирование каллуса на основе пыльников (1 пассаж)

Конечно, не все пыльниковые экспланты обладали способностью к каллусогенезу. У сорта Союз на основе пыльников не только на селективной, но и на среде без

КФ, каллус не формировался. Возможно, этот сорт специфичен и не обладает способностью к каллусогенезу (не подходит для культивирования клеток *in vitro*). Некоторое снижение количества сформированного каллуса, в зависимости от концентрации культурального фильтрата, отмечено у линий НО-65, 0-12-601-6-3-2 и 0-12-601-5-1-1 – чем выше концентрация, тем меньше каллусов на основе пыльников было сформировано. Больше всего каллусов на селективной среде сформировано у генотипов НО-65 (от 6,6 до 7,5 %, в зависимости от концентрации КФ) и 0-12-601-6-3-2 (от 3,2 до 4,5 %, в зависимости от концентрации КФ) (табл. 2). И на среде без КФ у этих генотипов получено наибольшее количество пыльников с каллусами (9,6 и 5,4 %, соответственно), они оказались более лояльными к условиям *in vitro.* У линии Л-2053-6-10 на среде, не содержащей КФ формировалось несколько меньше каллусов, чем на среде, с КФ в концентрации 0,1 мл/л и столько же, как на среде с КФ в концентрации 1,0 мл/л, однако, это математически не доказуемо (r – -0,4). У линии Л-2053-5…11 каллус сформировался лишь на среде без КФ и при концентрации КФ в среде 0,1 мл/л.

Таблица 2. Формирование каллуса на основе пыльниковых эксплантов на селективной среде

Генотип	Концентрация культурального фильтрата, мл/л	Сформировано каллусов на основе пыльников,		
		шт/пыльник	% ± Sp	r
НО-65	0,0 К	0,130	9,6 ± 0, 2	0,5
	0,1	0,067	7,5 ± 0,1	
	0,5	0,120	8,3 ± 0,1	
	1,0	0,100	6,6 ± 0,1	
0-12-601-6-3-2	0,0 К	0,200	5,4 ± 0,2	0,6
	0,1	0,100	4,5 ± 0,1	
	0,5	0,130	3,3 ± 0,1	
	1,0	0,067	3,2 ± 0,1	
0-12-601-5-1-1	0,0 К	0,067	4,2 ± 0,1	0,8
	0,1	0,067	3,9 ± 0,1	
	0,5	0,029	1,4± 0,1	
	1,0	0,0	0	
Л 2053-6-10	0,0 К	0,067	2,2 ± 0,1	- 0,4
	0,1	0,067	2,4 ± 0,1	
	0,5	0,0	0	
	1,0	0,067	2,2 ± 0,1	
Л 2053-5-11	0,0 К	0,067	3,1 ± 0,1	0,7
	0,1	0,029	1,3 ± 0,1	
	0,5	0,0	0	
	1,0	0,0	0	
Союз	0,0 К	0,0	0	0
	0,1	0,0	0	
	0,5	0,0	0	
	1,0	0,0	0	

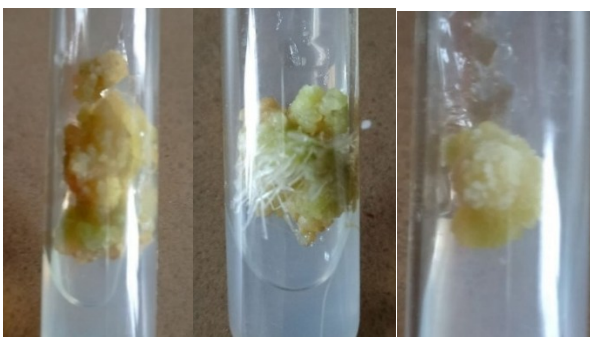
Перенос морфогенных каллусов осуществляли на свежие питательную и селективные среды. Использовали повышающие (по сравнению с 1 пассажем) концентрации КФ – 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0 мл/л. В результате исследований установлено, что с повышением концентрации КФ от 1,0 до 5,0 мл/л у всех генотипов, кроме 0-12-601-6-3-2 и 0-12-601-5-1-1, отмечено снижение количества сформированных морфогенных очагов. У отмеченных выше линий в варианте с концентрацией КФ 3,0 мл/л количество морфогенных каллусов было на уровне варианта «1,0 мл/л» (0-12-601-6-3-2 – 34 %) или несколько ниже, чем в варианте «1,0 мл/л», но выше, чем в варианте «2,0 мл/л» (0-12-601-5-1-1 – 33 %) (табл. 3).

Таблица 3. Формирование морфогенных очагов в селективных условиях у различных генотипов льна (2 пассаж)

Генотип	Концентрация культурального фильтрата, мл/л	Сформировано морфогенных очагов, шт/каллус ±Sp	Получено морфогенных каллусов, % ±Sp
НО-65	1,0	3,0± 0,2	50,0 ± 1,1
	2,0	2,7± 0,1	34,0 ± 1,3
	3,0	2,2± 0,1	34,0 ± 1,1
	4,0	1,0± 0,1	15,0 ± 2,1
	5,0	0,5± 0,1	5,0 ± 1,1
0-12-601-6-3-2	1,0	2,0± 0,2	35,0 ± 1,4
	2,0	1,0± 0,1	26,0 ± 1,1
	3,0	1,3± 0,1	34,0 ± 1,2
	4,0	0,8± 0,1	18,0 ± 1,4
	5,0	0,3± 0,1	2,0 ± 1,1
0-12-601-5-1-1	1,0	3,0± 0,1	38,0 ± 1,5
	2,0	2,2± 0,1	28,0 ± 1,2
	3,0	2,9± 0,1	33,0 ±1,2
	4,0	1,0± 0,1	8,0 ± 1,1
	5,0	0,0± 0,1	0
Л 2053-6-10	1,0	2,6± 0,1	27,0 ± 1,3
	2,0	2,6± 0,1	26,0 ± 1,3
	3,0	2,0± 0,1	18,0 ± 1,3
	4,0	1,0± 0,1	7,0 ± 1,1
	5,0	0,5± 0,1	2,0 ± 1,1
Л 2053-5-11	1,0	2,6± 0,1	19,0 ± 1,4
	2,0	2,9 ± 0,1	22,0 ± 1,5
	3,0	2,0± 0,1	15,0 ± 1,1
	4,0	1,0± 0,1	8,0 ± 1,0
	5,0	0,0± 0,1	0

При концентрации КФ 4,0 мл/л количество морфогенных каллусов значительно снижалось с 19…38 % до 7…8 % у линий Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, 0-12-601-5-1-1 и с 35…50 % до 15…18 % – у НО-65 и 0-12-601-6-3-2. При концентрации КФ 5,0 мл/л морфогенные очаги не формировались, либо формировались в малых количествах (0,3…0,5 шт./каллус у НО-65, 0-12-601-6-3-2, Л 2053-6-10). Каллусные клетки при такой концентрации КФ в среде культивирования быстро оводнялись, становились бледно зелёными и впоследствии темнели.

Наиболее жизнеспособные морфогенные клетки и в большем количестве во втором пассаже формировались у формы НО-65 и линии 0-12-601-5-1-1 (рис. 3).



а б в

Рис. 3. Формирование каллуса и морфогенных очагов у линий Л-2053-6-10 (а), НО-65 (б), 0-12-601-5-1-1 (в)

После переноса морфогенных клеток на свежие питательные среды без селективного агента через 1…2 пассажа в морфогенных очагах формировались почки и единичные побеги. У всех генотипов (кроме сорта Союз) получены растения-регенеранты. Большее их количество получено у линии НО-65 (3 ед.), по одному – у Л-2053-6-10, 0-12-601-6-3-2, Л-2053-5-11, 0-12-601-5-1-1. Все регенеранты были дигаплоидами.

Таким образом выявлено, что использование во 2 пассаже концентраций КФ 1, 2 и 3 мл/л не снижало морфогенетическую активность каллусных культур, тогда как при концентрации КФ 4 мл/л количество морфогенных каллусов значительно снижалось с 19…38 % до 7…8 % у линий Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, 0-12-601-5-1-1 и с 35…50 % до 15…18 % – у НО-65 и 0-12-601-6-3-2. При концентрации КФ 5,0 мл/л морфогенные очаги не формировались, либо формировались в малых количествах.

Обсуждение

Для получения качественной льнопродукции и решения проблемы сырьевого обеспечения страны селекционерами ежегодно создаются новые сорта льна-долгунца с высоким урожаем волокна и семян и устойчивостью к болезням. К одной из наиболее опасных болезней, проявляющихся в последние годы ежегодно, относится антракноз льна, возбудителем которого является гриб *Colletotrichum lini,* паразитирующий на семенах льна и растительных остатках. Для решения проблемы устойчивости создаются новые сорта льна-долгунца. Однако устойчивость к патогену сохраняется лишь в течение 2…3 поколений. Проводятся биотехнологические исследования и разработана эффективная селективная система «гриб *Colletotrichum lini* - лён» с использованием культурального фильтрата штаммов возбудителя антракноза и эмбриокультуры. Вместе с тем, созданные устойчивые формы проявляют устойчивость лишь к штаммам, использованным в исследованиях. Селекция сельскохозяйственных культур, основанная на внутривидовой гибридизации и отборе, по-прежнему остается длительным и трудоемким процессом (10…12 лет). Биотехнологические методы получения дигаплоидных линий в значительной мере могут ускорить селекционный процесс в 1,5…2 раза и повысить качество получаемой продукции. Биотехнологические методы позволят селекционерам работать с необходимыми признаками, а полученные за один этап (год) высокопродуктивные и пластичные линии включать в скрещивания. Культура пыльников может способствовать получению дигаплоидов, и, как следствие, сохранению устойчивости в потомстве. В работах учёных показано, что использование культуры пыльников как одного из приёмов получения константного селекционного материала способствовало формированию новых форм растений с изменёнными признаками [11, 12, 15]. Рассмотрены основные этапы технологии получения гаплоидных растений в культуре пыльников: выращивание и отбор донорных растений, предобработка различными стрессовыми факторами, выделение пыльников и их культивирование в условиях *in vitro*, индуцирование эмбриогенеза, регенерация растений, удвоение числа хромосом растений-регенерантов, а также некоторые факторы, контролирующие индукцию каллусогенеза, эмбриоидогенеза и регенерацию растений *in vitro* [13, 14, 15]. Проводились исследования по созданию форм льна, устойчивых к фузариозному увяданию, с использованием культуры пыльников [15]. Вместе с тем, эффективность селекции была очень низкой вследствие специфических особенностей культуры льна. Поэтому нами предприняты попытки усовершенствовать приемы культуры пыльников *in vitro* с целью повышения морфогенетической активности пыльников льна в селективных условиях при создании новых, устойчивых к антракнозу, форм. В результате исследований удалось разработать состав селективной среды для культивирования пыльников и каллуса 2 пассажа. Появилась возможность получать в селективных условиях на основе пыльников льна растения-регенеранты. Все они были дигаплоидами. Требуется проведение дальнейших исследований, оценки регенерантов по устойчивости к антракнозу, а также изучения потомств регенерантов по устойчивости. Для этого необходимо постановка серии экспериментов по влиянию не только культурального фильтрата, но и других условий на морфогенез льна на селективной среде.

Заключение

В результате исследований установлено, что проведение отбора клеток пыльниковых эксплантов льна, устойчивых к культуральному фильтрату штаммов возбудителя антракноза 848, 850, 855 и 853 в 1 пассаже (нулевой этап селекции *in vitro*) возможно на питательной среде Sh-2 с добавлением культурального фильтрата этих штаммов в концентрациях 0,1, 0,5, 1,0 мл/л. Больше всего каллусов на основе пыльников в селективных условиях сформировали генотипы НО-65 и 0-12-601-6-3-2 (0,067…0,13 шт./пыльник). выявлено, что использование во 2 пассаже концентраций КФ 1, 2 и 3 мл/л не снижало морфогенетическую активность каллусных культур, тогда как при концентрации КФ 4 мл/л количество морфогенных каллусов значительно снижалось с 19…38 % до 7…8 % у линий Л 2053-5-11, Л 2053-6-10, 0-12-601-5-1-1 и с 35…50 % до 15…18 % – у НО-65 и 0-12-601-6-3-2. При концентрации КФ 5,0 мл/л морфогенные очаги не формировались, либо формировались в малых количествах. У всех генотипов (кроме сорта Союз) получены растения-регенеранты – дигаплоиды.

Литература

1. Основные проблемы научного обеспечения льноводства / Р. А. Ростовцев, В. Г. Черников, И. В. Ущаповский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. № 14(3). С. 45-52. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.

2. Особенности химического состава льна семян / Е.Е. Курдюков, Е.Ф. Семенова, Н.А. Гаврилова и др.

// Вестник Пензенского государственного университета. 2019. № 4 (28). С. 81-84. EDN: WIHTCV

3. Трабурова Е. А. Адаптивный потенциал современных сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(67). С. 75-80. doi:10.18286/1816-4501-2024-3-75-80

4. Новый раннеспелый сорт льна-долгунца Стриж для условий Северо-Запада России / А. Д. Степин, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. № 24(4). С. 572-580. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.572-580

5. Кудрявцева Л. П., Прасолова О.В. Групповая устойчивость сортов - важный приоритет селекции льна-долгунца // Аграрный вестник Верхневолжья. 2018. № 3(24). С. 25-30.

6. Кудрявцева Л. П. Значимость "Коллекции микроорганизмов - возбудителей болезней льна" в селекционной работе на устойчивость к фузариозному увяданию и ржавчине // Аграрный вестник Урала. 2025. 25. № 1. С. 2-9. doi: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9

7. Степанова Н. В. Болезни льна-долгунца: фитопатологический анализ // Наше сельское хозяйство. 2023. № 15(311). С. 56-63.

8. Кудрявцева Л. П., Рожмина Т. А., Соколова Н. С. Особенности наследования признака устойчивости льна к антракнозу // Вестник АПК Верхневолжья. 2016. № 4 (36). С. 21-24.

9. Кудрявцева Л. П., Пролётова Н. В. Фитопатологическое тестирование генотипов льна на устойчивость к антракнозу // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. № 8 (54). С. 5-13. doi: 10.26898/0370-8799-2024-8-1.

10. Пролётова Н. В., Зотова В. С. Разнообразие форм льна, полученных при селекции *in vitro* на устойчивость к антракнозу (*Colletotrichum lini*) // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4 (68). С. 41-49. doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-41-49.

11. Петраш Н. В., Орлова Е. А., Лихенко И. Е., Пискарев В.В. Изучение эффективности культуры пыльников *in vitro* сортов и гибридов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Зерновое хозяйство России. 2022. Т. 14. № 6. С. 17-22. doi: 31367/2079-8725-2022-83-6-17-22.

12. Ускоренное развитие популяций риса с использованием культуры пыльников / E. Savenko, V. Glazyrina, L. Shundrina et al. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. № 17(6-2). С. 149-164. doi: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1542.

13. Сельдимирова О. А., Никонов В. И. Факторы, влияющие на отзывчивость в культуре *in vitro* изолированных пыльников злаков // Экобиотех. 2021. Т. 4. № 2. С. 107-120. doi: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-107-120.

14. Калинина Н. В., Головко С. Г., Ионова Е. В. Методы получения гаплоидов в клеточной селекции озимой пшеницы (обзор) // Зерновое хозяйство России. 2020. № (6). С. 56-63. doi: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-56-63

15. Поляков А. В. Биотехнология в селекции льна: Монография. Изд. 2-е. М. 2010. 201 с.: ил., табл. 94, библиогр.: 512 назв.

16. Пролётова Н. В., Лошакова Н. И., Поляков А. В. Получение растений-регенерантов льна-долгунца, устойчивых к фузариозному увяданию, методами *in vitro* (культура пыльников, клеточная селекция): Методические рекомендации. Торжок. 2008. 18 с.

17. Патент № 2120741 С1 Российская Федерация, МПК А01Н 4/00. Питательная среда для культивирования пыльников льна: № 96112871/13: заявл. 27.06.1996: опубл. 27.10.1998 / Поляков А. В., Пролетова Н. В.; заявитель Всероссийский научно-исследовательский институт льна.

References

1. The main problems of scientific support for flax cultivation / R. A. Rostovtsev, V. G. Chernikov, I. V. Ushchapovsky, et al. // Agricultural Machinery and Technologies. 2020. No. 14(3). P. 45-52. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52

2. Features of the chemical composition of flax seeds / E. E. Kurdyukov, E. F. Semenova, N. A. Gavrilova, et al. // Vestnik of Penza State University. 2019. No. 4 (28). P. 81-84. EDN: WIHTCV

3. Traburova E. A. Adaptive potential of modern varieties of fiber flax of domestic and foreign selection // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 3 (67). P. 75-80. doi: 10.18286/1816-4501-2024-3-75-80

4. New early-ripening variety of fiber flax Strizh for the conditions of the North-West of Russia / A.D. Stepin, M.N. Rysev, T.A. Ryseva, et al. // Agrarian science of the Euro-North-East. 2023. No. 24 (4). P. 572-580. doi: 10.30766/2072-9081.2023.24.4.572-580

5. Kudryavtseva L. P., Prasolova O. V. Group resistance of varieties is an important priority in fiber flax breeding // Agrarian Vestnik of the Upper Volga Region. 2018. No. 3(24). P. 25-30.

6. Kudryavtseva L. P. Significance of the "Collection of microorganisms - causative agents of flax diseases" in breeding work for resistance to fusarium wilt and rust // Agrarian Vestnik of the Urals. 2025. 25. No. 1. P. 2-9. doi: 10.32417/1997-4868-2025-25-01-2-9

7. Stepanova N. V. Diseases of fiber flax: phytopathological analysis // Our Agriculture. 2023. No. 15 (311). P. 56-63.

8. Kudryavtseva L. P., Rozhmina T. A., Sokolova N. S. Features of the inheritance of the flax resistance trait to anthracnose // Vestnik of the Upper Volga Region AIC. 2016. No. 4 (36). P. 21-24.

9. Kudryavtseva L. P., Proletova N. V. Phytopathological testing of flax genotypes for resistance to anthracnose // Siberian Vestnik of Agricultural Science. 2024. No. 8 (54). P. 5-13. doi: 10.26898/0370-8799-2024-8-1

10. Proletova N. V., Zotova V. S. Diversity of flax forms obtained by in vitro selection for resistance to

anthracnose (Colletotrichum lini) // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2024. No. 4 (68). P. 41-49. Doi: 10.18286/1816-4501-2024-4-41-49

11. Petrash N. V., Orlova E. A., Likhenko I. E., Piskarev V. V. Study of the efficiency of in vitro anther culture of common wheat (Triticum aestivum L.) varieties and hybrids // Grain Economy of Russia. 2022. Vol. 14. No. 6. P. 17-22. doi: 31367/2079-8725-2022-83-6-17-22

12. Accelerated development of rice populations using anther culture / E. Savenko, V. Glazyrina, L. Shundrina et al. // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2025. No. 17(6-2). P. 149-164. doi: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-2-1542.

13. Seldimirova O.A., Nikonov V.I. Factors affecting the responsiveness of isolated cereal anthers to in vitro culture // Ecobiotekh. 2021. Vol. 4. No. 2. P. 107-120. doi: 10.31163/2618-964X-2021-4-2-107-120.

14. Kalinina N.V., Golovko S.G., Ionova E.V. Methods for obtaining haploids in cell breeding of winter wheat (review) // Grain Economy of Russia. 2020. No. (6). P. 56-63. doi: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-56-63

15. Polyakov A.V. Biotechnology in Flax Breeding: Monograph. 2nd ed. M. 2010. 201 p.: ill., table 94, bibliography: 512 titles.

16. Proletova N. V., Loshakova N. I., Polyakov A. V. Obtaining regenerated fiber flax plants resistant to fusarium wilt using in vitro methods (anther culture, cell selection): Methodological recommendations. Torzhok. 2008. 18 p.

17. Patent No. 2120741 C1 Russian Federation, IPC A01H 4/00. Nutrient medium for flax anther cultivation: No. 96112871/13: appl. 27.06.1996: published 27.10.1998 / Polyakov A. V., Proletova N. V.; applicant: All-Russian Flax Research Institute.

18. Dospekhov B. A. Field experiment methodology (with fundamentals of statistical processing of research results). 5th ed., supplemented and revised. Moscow: Agropromizdat. 1985. 351 p. ill.