

## ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ $AlCl_3$ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И МОРФОГЕНЕЗ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА IN VITRO

© 2023. Н. В. Пролётова, В. С. Зотова  
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»,  
г. Тверь, Российская Федерация

Исследования проводили на базе лаборатории селекционных и биотехнологий ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (Тверская область) в 2021–2022 годах. Целью исследования являлась разработка методических приемов селекции *in vitro* на устойчивость к повышенной кислотности почвы для создания новых, устойчивых к этому абиотическому стрессу генотипов льна-долгунца. В работе изучалась возможность использования  $AlCl_3$  и подборе концентраций этого селективного агента для селекции *in vitro*. В результате исследований апробированы три концентрации раствора  $AlCl_3$  – 44, 64, 84 мг/л. Выявлено токсическое действие ионов алюминия, содержащихся в  $AlCl_3$ , на прорастание семян льна-долгунца сортов Импульс, Феникс, Лидер, С-108, Союз, а также на формирование первичных корешков и проростков – гипокотилей этих сортов. Выявлено, что на седьмые сутки при повышении концентрации раствора  $AlCl_3$  показатель длины первичных корешков у проросших семян льна-долгунца снижался. Исследования показали, что наибольшую чувствительность к содержанию ионов алюминия проявили сорта С-108, Лидер и Союз, что выражалось в уменьшении длины гипокотилей при повышении концентрации ионов алюминия в растворе. Отмечено, что у генотипов во всех вариантах исследований на селективной среде, содержащей хлорид алюминия, формировался морфогенный каллус. В то же время частота формирования морфогенных каллусов была различной в зависимости от концентрации  $AlCl_3$  в среде культивирования. Тенденция к снижению количества морфогенных клеток с повышением концентрации ионов алюминия наблюдалась у всех сортов, включенных в исследования. Однако у менее чувствительных сортов – Импульс и Феникс, количество сформированного морфогенного каллуса было выше, чем у более чувствительных – С-108, Союз, Лидер. В селективных условиях *in vitro* получены побеги льна-долгунца исследуемых сортов, устойчивые к  $AlCl_3$ .

**Ключевые слова:** лён-долгунец, питательная среда, селективная среда, гипокотильные сегменты, морфогенный каллус, селекция *in vitro*.

**Благодарности:** исследования выполнены в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования ФГБНУ ФНЦ ЛК по теме № FGSS-2019-0022.

**Для цитирования:** Пролётова Н.В., Зотова В.С. Изучение влияния  $AlCl_3$  на прорастание семян и морфогенез льна-долгунца *in vitro*. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2023; 2(3): (25–32). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.96.49.004

Поступила: 16.02.2023 Принята к публикации: 18.05.2023 Опубликовано: 29.06.2023

## STUDY OF THE EFFECT OF $AlCl_3$ ON SEED GERMINATION AND MORPHOGENESIS OF FLAX IN VITRO

© 2023. N. V. Proletova, V. S. Zotova,  
Federal Research Center for Bast Fiber Crops  
Tver, Russian Federation

The studies were carried out on the basis of the laboratory of breeding and biotechnologies of the Federal State Budgetary Research Institution "Federal Research Center for Bast Fiber Crops" (Tver Region) in 2021–2022. The aim of the study was to develop methodological techniques for *in vitro* breeding for resistance to high soil acidity in order to create new fiber flax genotypes resistant to this abiotic stress. The work studied the possibility of using  $AlCl_3$  and selecting the concentrations of this selective agent for *in vitro* selection. As

*a result of the research, three concentrations of the  $AlCl_3$  solution were tested – 44, 64, 84 mg/l. The toxic effect of aluminum ions contained in  $AlCl_3$  on the germination of seeds of fiber flax varieties Impulse, Phoenix, Leader, S-108, Soyuz, as well as on the formation of primary roots and seedlings – hypocotyls of these varieties was revealed. It was revealed that on the seventh day, with an increase in the concentration of  $AlCl_3$  solution, the length index of primary roots in germinated fiber flax seeds decreased. Studies have shown that C-108, Leader and Soyuz varieties showed the greatest sensitivity to the content of aluminum ions, which was expressed in a decrease in the length of the hypocotyl with an increase in the concentration of aluminum ions in the solution. It was noted that morphogenic callus was formed in genotypes in all variants of studies on a selective medium containing aluminum chloride. At the same time, the frequency of formation of morphogenic calli was different depending on the concentration of  $AlCl_3$  in the cultivation medium. A trend towards a decrease in the number of morphogenic cells with an increase in the concentration of aluminum ions was observed in all varieties. Included in research. However, in less sensitive varieties – Impulse and Phoenix, the amount of formed morphogenic callus was higher than in more sensitive ones – S-108, Soyuz, Leader. Under selective conditions in vitro, fiber flax shoots of the studied varieties resistant to  $AlCl_3$  were obtained.*

**Key words:** fiber flax, nutrient medium, selective medium, hypocotyl segments, morphogenic callus, in vitro selection.

**Acknowledgments:** the research was carried out within the framework of the State task of the Ministry of Science and Higher Education of the Federal State Budgetary Research Institution "Federal Research Center for Bast Fiber Crops" on the topic No. FGSS-2019-0022.

**For citation:** Proletova N.V., Zotova V.S. Study of  $AlCl_3$  on seed germination and morphogenesis flax in vitro. Technical crops. Scientific agricultural journal. 2023; 2(3): (25-32). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.96.49.004

Received: 16.02.2023 Accepted for publication: 18.05.2023 Published: 29.06.2023

**Введение.** Лён-долгунец – ценная техническая культура древнего происхождения, дающая одновременно два вида продукции – волокно и семена. Несмотря на трудоемкость в возделывании, лён при грамотном и научном подходе является доходной культурой. В то же время влияние неблагоприятных факторов внешней среды является одной из причин низкой реализации биологических возможностей современных сортов льна в производственных условиях [1, 5, 12]. Лён-долгунец предъявляет высокие требования к почвам. Лучшими для льна считаются хорошо окультуренные, плодородные, структурные почвы, средне- и легкосуглинистые, с содержанием гумуса 2,5-3,0%, хорошими физическими свойствами и со слабой кислотностью. Непригодны песчаные, глинистые, заплывающие (легко образующие почвенную корку), заболоченные, с высоким уровнем грунтовых вод и засоленные почвы. Существенное снижение продуктивности волокна и семян отмечается при возделывании льна на почвах с сильнокислой ( $pH_{KCl}$  4,5 и ниже) и нейтральной ( $pH_{KCl}$  свыше 6,0) реакцией [4, 9]. Токсич-

ность кислых почв обусловлена рядом факторов: токсичность кислотности (высоких концентраций обменного водорода) проявляется на очень кислых торфяных почвах с  $pH$  2,8-3,9 при низком содержании обменного кальция. Очевидно, что под пашню такие почвы используются крайне редко [3, 10, 11]. Лён-долгунец в основном выращивают в регионах, где преобладают дерново-подзолистые почвы. На таких почвах важнейшей причиной, обуславливающей угнетающее действие на культурные растения, является содержание подвижного алюминия и уровень его токсичности [4, 6, 14]. Дерново-подзолистые почвы содержат огромные валовые количества алюминия (в среднем 9%). Растворимость алюминия зависит от  $pH$ . В пределах значений  $pH$  от 5 до 9 алюминий не растворим. Содержание ионов алюминия и его негативное воздействие уменьшается за счет образования частично диссоциированных форм  $Al(OH)_3$  и комплексов между алюминием и органическим веществом [2, 6].

Значительная пестрота почв в основных льносеющих регионах РФ по агрохимическим показателям и, прежде всего, уровню

кислотности, а также узкий оптимальный интервал ( $pH_{KCl}$  5,2-5,6) для возделывания льна-долгунца требуют решения проблемы в современных условиях не столько агрохимическим, сколько селекционным путем. Биотехнологические методы, как инструмент классической селекции, являются эффективными при создании новых форм с изменёнными признаками и свойствами. Возможность получения таких генотипов продемонстрирована на многих культурах, в том числе и на льне [7, 13, 15]. Поэтому целью исследований являлась разработка методических приемов селекции *in vitro* на устойчивость к повышенной кислотности почвы для создания новых, устойчивых к этому абиотическому стрессу генотипов льна-долгунца.

**Методика исследований.** Исследования по разработке методических приемов селекции льна на устойчивость к повышенной кислотности почвы проводились в условиях *in vitro* и вегетационного опыта в 2021-2022 гг.

Селекцию *in vitro* на устойчивость к токсичным ионам алюминия проводили с использованием биотехнологических методов, разработанных Пролётовой, Виноградовой, Кудрявцевой [8].

Схема проведения исследований в условиях *in vitro*:

- подбор генотипов льна для проведения исследований;
- культивирование семян на 1% растворе сахарозы;
- культивирование гипокотильных сегментов (ГС) на селективной среде, состоящей из компонентов питательной среды MS и солей алюминия в виде  $AlCl_3$  в концентрациях 44; 64; 84 мг/л;
- культивирование каллусных клеток на селективной среде, состоящей из компонентов питательной среды MS и солей алюминия в виде  $AlCl_3$  в концентрациях 44; 64; 84 мг/л;
- отбор устойчивых к токсичным ионам алюминия клеток льна;
- получение растений-регенерантов, обладающих устойчивостью к токсическому действию алюминия;
- оценка регенерантов в условиях *in vitro* по устойчивости к токсическому действию ионов алюминия.

Исходным материалом при селекции *in vitro* на устойчивость к повышенной кислотности почвы в биотехнологических исследованиях являлись семена и гипокотильные

сегменты сортов льна-долгунца Импульс, Феникс, Лидер, С-108, Союз.

Селективным агентом в исследованиях токсического действия алюминия в культуре гипокотильных сегментов и каллуса *in vitro* служили соли алюминия в виде  $AlCl_3$  в концентрациях 0 (контроль – питательная среда MS без селективного агента), 44 мг/л, 64 мг/л, 84 мг/л.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программ Microsoft Excel, с использованием метода первичной статистической обработки результатов эксперимента – определения выборочной средней величины.

**Результаты и их обсуждение.** С целью определения порога негативного воздействия семена льна предварительно проращивали на растворе  $AlCl_3$  различных концентраций (44, 64, 84 мг/л) и измеряли длину первичного корешка и величину гипокотилиа на 7 сутки с момента помещения на фильтровальную бумагу с раствором. Всхожесть семян у всех сортов была высокой и находилась в пределах 89-94% (проращивание на дистиллированной воде – контрольный вариант). Энергия прорастания сортов была тоже довольно высокой – уже на вторые сутки семена всех генотипов начинали прорастать и к окончанию вторых суток большинство семян имело длину первичного корешка около 1 мм. В течение семи суток происходил рост первичного корешка и формирование проростков – гипокотилей.

Выявлено, что включенные в исследования сорта по-разному реагировали на применяемые в работе концентрации  $AlCl_3$ . Так, при использовании концентрации раствора  $AlCl_3$  44 мг/л отмечали снижение длины первичного корешка на 2,1 – 4,8% у сортов Феникс, С-108, Союз, Лидер. В то же время у сорта Импульс при такой концентрации длина первичного корешка была на уровне контроля и составила 1,92 см (табл. 1). Дальнейшее снижение длины первичного корешка происходило у всех сортов: при концентрации 64 мг/л – на 20,8 – 39,2%, при концентрации 84 мг/л – на 37,0 – 61,4%. Таким образом выявлено, что раствор  $AlCl_3$  в выбранных концентрациях оказывал угнетающее действие на прорастание семян и формирование первичного корешка. Длина первичных корешков у сортов льна-долгунца снижалась с повышением концентрации раствора  $AlCl_3$ .

Таблица 1 – Влияние  $AlCl_3$  на длину первичного корешка льна-долгунца (2021-2022 гг.)

Генотип/Концентрация раствора $AlCl_3$ , мг/л	Длина первичного корешка, см, $\pm Sp$			
	0 (контроль)	44,0	64,0	84,0
Импульс	1,92 $\pm$ 0,2	1,92 $\pm$ 0,2	1,57 $\pm$ 0,2	1,21 $\pm$ 0,1
Феникс	1,94 $\pm$ 0,1	1,85 $\pm$ 0,2	1,51 $\pm$ 0,1	1,03 $\pm$ 0,1
С-108	1,91 $\pm$ 0,1	1,84 $\pm$ 0,1	1,27 $\pm$ 0,2	0,83 $\pm$ 0,1
Союз	1,89 $\pm$ 0,1	1,85 $\pm$ 0,1	1,15 $\pm$ 0,2	0,73 $\pm$ 0,2
Лидер	1,91 $\pm$ 0,2	1,82 $\pm$ 0,1	1,51 $\pm$ 0,1	0,77 $\pm$ 0,2

При оценке формирования гипокотилей льна-долгунца на основе проростков использовали те же концентрации  $AlCl_3$ , что при оценке формирования корешков. Гипокотили во всех вариантах формировались, но их длина зависела от генотипа и концентрации раствора  $AlCl_3$ . На седьмые сутки проращивания семян льна-долгунца гипокотили имели длину 1-5 см в зависимости от сорта. Наибольшую чувствительность к содержанию ионов алюминия в растворе проявили сорта С-108, Лидер и Союз. Это проявилось в уменьшении длины гипокотилия при повышении концентрации ионов алюминия в растворе. Длина гипокотилия у этих сортов составляла 2 – 3,5 см при использовании концентрации 44 мг/л, 1 – 3,5 см – при кон-

центрации 64 мг/л, 1 – 1,5 см – при концентрации 84 мг/л (табл. 2). У менее чувствительных сортов (Импульс и Феникс) сформировались гипокотили величиной 4 – 5 см в варианте использования концентрации 44 мг/л. В варианте использования концентрации  $AlCl_3$  64 мг/л гипокотили имели длину 3,5-4,5 см, при концентрации 84 мг/л – 3-4,5 см. При проращивании семян льна на дистиллированной воде – в контроле, длина гипокотилия у всех сортов, взятых в исследования, была на уровне 4,5 – 5,0 см.

Таким образом, выбранные концентрации  $AlCl_3$  оказались рабочими и были включены в дальнейшие исследования по созданию новых форм льна-долгунца, устойчивых к повышенной кислотности почвы.

Таблица 2 – Влияние  $AlCl_3$  на формирование гипокотилей льна-долгунца (2021-2022 гг.)

Генотип/Концентрация раствора $AlCl_3$ , мг/л	Длина гипокотилей, см $\pm Sp$			
	0 (контроль)	44,0	64,0	84,0
Импульс	5,0 $\pm$ 0,1	4,0 $\pm$ 0,3	3,5 $\pm$ 0,1	3,0 $\pm$ 0,1
Феникс	5,0 $\pm$ 0,2	5,0 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,1	4,5 $\pm$ 0,1
С-108	4,5 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,3
Союз	5,0 $\pm$ 0,1	3,5 $\pm$ 0,2	3,5 $\pm$ 0,1	1,3 $\pm$ 0,2
Лидер	4,8 $\pm$ 0,2	3,0 $\pm$ 0,3	3,1 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,2

Согласно схеме селекции, следующим этапом исследований являлось получение гипокотильных сегментов льна-долгунца для использования их в культуре *in vitro*. Гипокотильные сегменты размером 5-8 мм по-

лучали от 14 суточных проростков льна. Для этого семена высевали в пробирки на фильтровальную бумагу с 1% раствором сахарозы и культивировали их в условиях 16-часового светового дня с освещенностью 4000 люкс

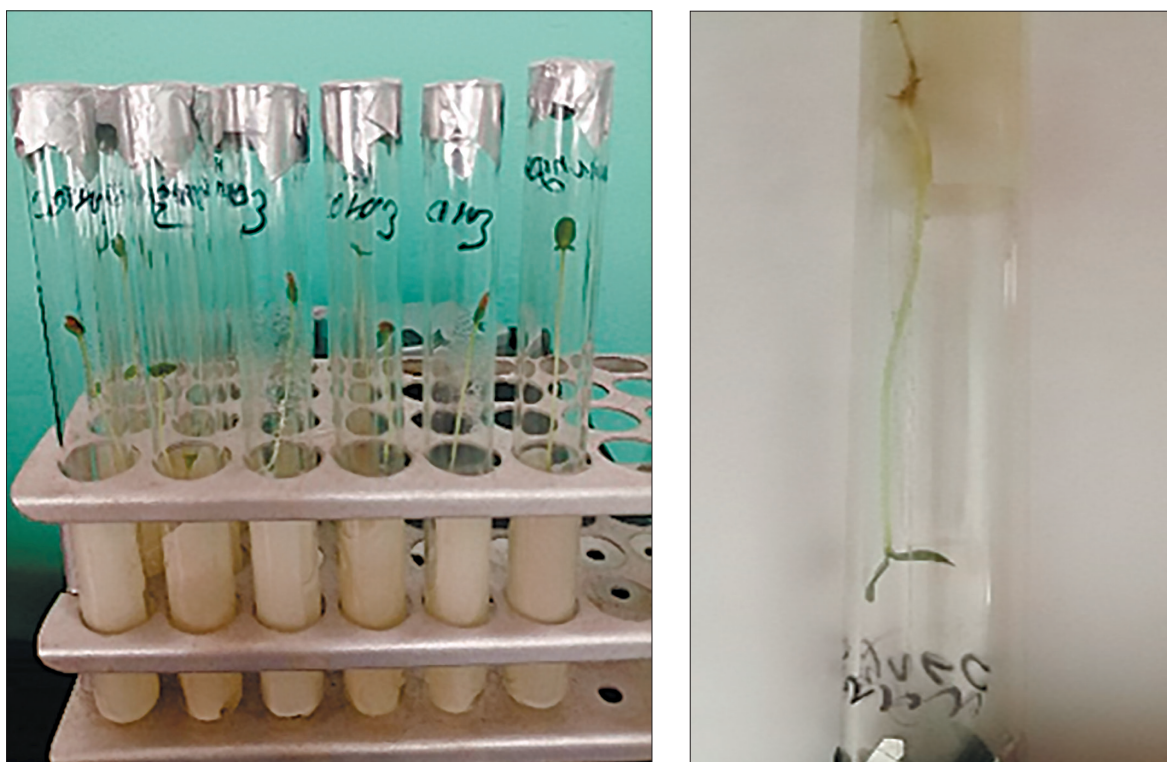


Рисунок 1. Культивирование семян льна на растворе сахарозы и получение проростков

(рис. 1). После чего проростки извлекали из пробирки и разрезали на сегменты длиной 5-8 см. Сегменты гипокотыля помещали на селективные среды, содержащие ионы алюминия в концентрациях, используемых при проращивании семян – 44, 64, 84 мг/л  $AlCl_3$ .

Анализ результатов исследований показал, что на 21 сутки с момента культивирования морфогенного каллуса, полученного на основе ГС в условиях *in vitro*, новые каллусные клетки формировались во всех вариантах исследований (рис. 2). Причем, в основном, консистенция каллуса была рыхлой, от светло-зелёного до светло-коричневого цвета. Отмечено, что у генотипов во всех вариантах исследований формировался морфогенный каллус.

Частота формирования морфогенных каллусов в зависимости от концентрации  $AlCl_3$  в среде культивирования была различной. Однако тенденция снижения количества морфогенных клеток с повышением

концентрации ионов алюминия наблюдалась у всех сортов. Вместе с тем, у менее чувствительных сортов – Импульс и Феникс, количество сформированного морфогенного каллуса было выше, чем у более чувствительных – С-108, Союз, Лидер. В варианте использования концентрации  $AlCl_3$  44,0 мг/л количество сформированного морфогенного каллуса у сортов Импульс и Феникс составляло 92,0 и 91,0%, соответственно, у сортов С-108, Союз, Лидер – 85,5 – 90,1% (табл. 3). При использовании концентрации  $AlCl_3$  64,0 мг/л количество сформированного морфогенного каллуса у сортов Импульс и Феникс составляло 87,1 и 88,0%, соответственно, у сортов С-108, Союз, Лидер – 70,3 – 79,5%. Количество сформированного морфогенного каллуса при использовании концентрации  $AlCl_3$  84,0 мг/л у сортов Импульс и Феникс составляло 81,2 и 84,8%, соответственно, у сортов С-108, Союз, Лидер – 65,5 – 71,3%.

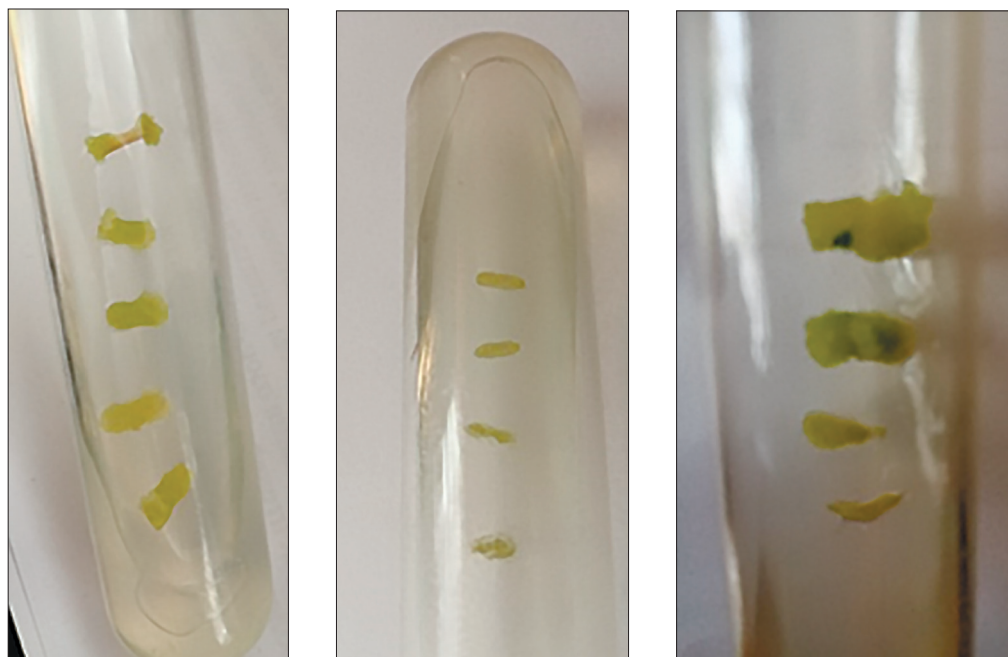


Рисунок 2. Формирование каллуса и морфогенных очагов на основе гипокотильных сегментов льна

Таблица 3 – Влияние  $AlCl_3$  на каллусогенез льна-долгунца в культуре *in vitro* (2021-2022 гг.)

Генотип/Концентрация раствора $AlCl_3$ , мг/л	Сформировано морфогенных каллусов, % $\pm$ Sp			
	0 (контроль)	44,0	64,0	84,0
Импульс	97,8 $\pm$ 2,2	92,0 $\pm$ 3,0	87,1 $\pm$ 2,1	81,2 $\pm$ 2,8
Феникс	96,9 $\pm$ 3,1	91,0 $\pm$ 4,0	88,0 $\pm$ 3,1	84,8 $\pm$ 1,9
С-108	97,3 $\pm$ 2,0	90,1 $\pm$ 1,2	70,3 $\pm$ 3,2	65,5 $\pm$ 1,4
Союз	97,8 $\pm$ 1,2	85,5 $\pm$ 2,4	73,4 $\pm$ 2,8	70,5 $\pm$ 2,8
Лидер	96,6 $\pm$ 2,6	88,3 $\pm$ 2,6	79,5 $\pm$ 2,6	71,3 $\pm$ 2,9

В результате исследований выявлено, что новообразования на каллусах в форме почек и побегов с более высокой частотой формировались в вариантах добавления в среду  $AlCl_3$  в концентрациях 44 и 64 мг/л. Так, у сорта Феникс, в контрольном варианте, на среде без  $AlCl_3$  на 21 сутки сформировалось 6 почек и один побег. Частота формирования составила 0,7 шт./каллус (табл. 4). В вариантах с добавлением 44 и 64 мг/л  $AlCl_3$  частота формирования новообразований составила 2 шт./каллус, а в варианте добавления 84 мг/л

$AlCl_3$  – 1,5 шт./каллус. У сорта Импульс, в контрольном варианте, на среде без  $AlCl_3$  на 21 сутки сформировалось 3 почки. Частота формирования составила 0,8 шт./каллус. В вариантах с добавлением 44, 64 и 84 мг/л  $AlCl_3$  частота формирования новообразований составила 1 шт./каллус. Ионы алюминия, содержащиеся в селективной среде, оказывали стимулирующий эффект на образование в морфогенных очагах почек и побегов льна-долгунца.

Таблица 4 – Формирование новообразований (почек, побегов льна) в селективных условиях *in vitro*

Генотип/Концентрация раствора $AlCl_3$ , мг/л	Количество новообразований, сформированных в меристематических очагах, шт./каллус, $\pm Sp$			
	0 (контроль)	44,0	64,0	84,0
Феникс	$0,7 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,6$	$2,0 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,1$
Импульс	$0,8 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,1$	$1,7 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,05$

Побеги льна-долгунца используемых в исследованиях сортов, полученные в результате трёх этапов отбора морфогенных очагов на селективных средах, переносили на среду MS, содержащую 64,0 мг/л  $AlCl_3$  и оценивали на устойчивость к токсичному действию ионов алюминия. Побеги, проявившие устойчивость, продолжали развиваться – образовывали корешки или в месте среза – каллусную ткань с морфогенными очагами. Восприимчивые побеги составили 54%, и на селективной среде темнели и погибали.

Таким образом, проведены исследования по влиянию токсичных ионов алюминия на регенерационную способность и морфогенез льна-долгунца в условиях *in vitro*. Выявлены сорта льна-долгунца с различной чувствительностью на присутствие  $AlCl_3$  в растворах для проращивания семян и в селективных средах.

**Выводы.** В результате исследований определена реакция *in vitro* пяти сортов льна-дол-

гунца на содержание ионов алюминия в растворах для проращивания семян и на среде для культивирования клеток льна. Исходя из полученных данных, сорта Феникс, Импульс, С-108, Смолич, Лидер проявили способность прорасти и формировать проростки на растворе  $AlCl_3$  с  $pH_{KCl}$  4,0. Сорта Феникс и Импульс были менее чувствительными (слабо восприимчивыми) к используемым концентрациям  $AlCl_3$ , тогда как сорта С-108, Смолич, Лидер реагировали на содержание ионов алюминия в растворе и селективной среде. Чувствительность выражалась в уменьшении длины корешка и гипокотилей при проращивании семян, снижении морфогенетической активности (формировании морфогенного каллуса) – в культуре *in vitro*. Получены побеги используемых в исследованиях сортов льна-долгунца, не восприимчивые к содержанию ионов алюминия в среде культивирования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанова И.В., Попов Р.А. Региональные особенности развития льняного подкомплекса в условиях нарастающих кризисных явлений // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – №2(50). – С. 66-71.
2. Кедрова Л.И., Уткина Е.И. Влияние почвенной кислотности на урожайность озимой ржи и возможности эдафической селекции // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2018. – Т. 67. – № 6. – С. 17-25.
3. Кислотность почвы: тенденции и борьба // Агробизнес URL: [https://agbz.ru/articles/kislotnost-pochvyi\\_tendentsii-i-borba/](https://agbz.ru/articles/kislotnost-pochvyi_tendentsii-i-borba/) (дата обращения: 02.02.2023).
4. Кишлян Н.В., Мельникова Н.В., Рожмина Т.А. Механизмы адаптации льна-долгунца к повышенной кислотности почвы (обзор) // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – № 181(4). – С. 205-212.
5. Кишлян Н.В., Рожмина Т.А. Оценка генофонда льна культурного (*Linum usitatissimum* L.) по кислотоустойчивости // Сельскохозяйственная биология. – 2010. – № 1. – С.96-103.
6. Пономарева Л.В., Дричко В.Ф., Цветкова Н.П., Кудрявцев Д.В. Содержание подвижного алюминия и кислотность почвы

на фоне бактериализации алюмотолерантными штаммами как приема повышения устойчивости растений // Сельскохозяйственная биология. — 2010. — 45(1). — С.104-109.

7. Пролётова Н.В. Использование биотехнологических методов для создания новых генотипов льна, устойчивых к антракнозу // Достижения науки и техники АПК. — 2019. — Т. 33. — № 8. — С. 24-28.

8. Пролётова Н.В., Виноградова Е.Г., Кудрявцева Л.П. Методы создания *in vitro* растений-регенерантов льна-долгунца устойчивых к антракнозу (*Colletotrichum lini* Mannset Volley) и токсичным ионам алюминия: методические рекомендации. — Тверь, 2014. — 19 с.

9. Региональная система земледелия Смоленской области / А.М. Конова, А.Ю. Гаврилова, Э.С. Рекашус и др.— Смоленск: «Агронаучсервис», 2013. — 277 с.

10. Слюсарь И.А., Силаева О.П., Бабурченкова З.П. Динамика показателей почвенного плодородия и использование средств химизации в Смоленской области // Достижения науки и техники АПК. — 2018. — №4. — С.10-15.

11. Современные проблемы использования почв и повышения их плодородия: сборник статей по материалам Междунар. на-

уч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры почвоведения БГСХА: в 2 ч. / Под ред. В.В. Великанова [и др.]. — Горки, 2022. — Ч. 1. — 314 с.

12. Ущаповский И.В., Васильев А.С., Щеголихина Т.А., Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Голубев И.Г. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства технических культур: науч. аналит. обзор. — М.: ФГБНУ «Росинформротех», 2019. — 72 с.

13. Черкасова Н.Н., Жужжалова Т.П., Ткаченко И.П. Разработка оптимальных условий *in vitro* для повышения устойчивости регенерантов сахарной свёклы к засухе // Технология высоких урожаев. — 2020. — № 9. — С. 50-52.

14. Четверикова Н.С., Лукин С.В., Марциневская Л.В. Мониторинг плодородия черноземов лесостепной зоны // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. — 2011. — № 9(104). — С. 184-190.

15. Шуплецова О.Н., Огородникова С.Ю., Назарова Я.И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. — 2020. — №181(4). — С. 192-199.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Пролётова Наталья Викторовна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 17/56, Комсомольский проспект, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: n.proletova.trk@fncl.ru

**Зотова Вероника Сергеевна**, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 17/56, Комсомольский проспект, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: v.erofeeva.sml@fncl.ru

**Natalya V. Proletova**, PhD in Biological Sciences, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky pr., Tver, Russia Federation, 170041, e-mail: n.proletova.trk@fncl.ru

**Veronika S. Zotova**, junior researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky pr., Tver, Russia Federation, 170041, e-mail: v.erofeeva.sml@fncl.ru